

КИБЕРНЕТИКА

**И ЖИВОЙ
ОРГАНИЗМ**

КИБЕРНЕТИКА И ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
А. Н. ЛУКА

С ПРЕДИСЛОВИЕМ И ПОД РЕДАКЦИЕЙ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АМН СССР
Н. М. АМОСОВА

КИЕВ —



— 1964

Специального издания по биокибернетике пока нет, и работы кибернетического направления, публикуемые в различных журналах, разыскать не всегда легко. В книге «Кибернетика и живой организм» содержатся некоторые работы зарубежных авторов, в которых использованы новые кибернетические идеи. В частности, рассмотрены проблемы человеческой памяти в свете теории информации; применено понятие обратной связи для объяснения механизма ряда рефлекторных реакций, а также некоторых патологических состояний. Проведено сравнение современных вычислительных машин и мозга как устройств для переработки информации. Высказана и развита гипотеза о роли невруглии в функционировании мозга; в этой гипотезе глия уподобляется программе вычислительной машины. Поставлен вопрос о применении психоаналитической теории в кибернетике. Наконец, рассмотрены некоторые пути моделирования человеческого мышления на вычислительной машине. В книгу включена работа по гипнопедии (обучение во сне).

Книга рассчитана на широкий круг инженеров, биологов, врачей, студентов, интересующихся биологией и кибернетикой.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета АН УССР

Редактор *Н. П. Кот*

Художественный редактор *В. П. Кузь*

Оформление художника *Г. И. Головченко*

Технический редактор *Ю. Б. Дахно*

Корректор *Л. С. Свердлова*

Зак. 2008. Изд. № 165. Тираж 12270. Формат бумаги 84×108/32. Печатн. листов 3,75. Условн. печатн. листов 6,15. Учетно-издат. листов 6,03. Подписано к печати 11/IX — 1964 г. Цена 18 коп.
Т. п. 1964, поз. 313.

Издательство «Наукова думка» Киев, Репина, 3.
Киевская книжная типография № 5 Государственного комитета
Совета Министров УССР по печати, Киев, Репина, 4.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопрос о возможности применения идей и принципов кибернетики в биологических науках перестал быть предметом споров. Сейчас на повестке дня другой вопрос — поиски конкретных путей приложения понятий информации и обратной связи к живым организмам.

В разных странах исследователи предпринимают в этом направлении многочисленные попытки. Сообщения о достигнутых результатах появляются в печати. Но пока еще нет специальных журналов по биокибернетике, и работы кибернетического направления появляются в различных изданиях. Разыскать их не всегда легко.

В предлагаемой читателю книге «Кибернетика и живой организм» собраны некоторые работы зарубежных ученых (американских и английских), в которых в большей или меньшей степени использованы кибернетические представления.

За последние годы определились основные направления, в которых применение кибернетических идей вышло за рамки декларативных высказываний и приобрело конкретный характер. Это прежде всего касается психологических исследований.

Статья американского психолога Дж. Миллера представляет собой попытку рассмотреть человеческую память в свете теории информации; причем автор критически подошел к теме и сумел подчеркнуть то важное обстоятельство, что теория информации в ее нынешнем виде еще не дает адекватного критерия для оценки памяти человека. Дело в том, что требуется не только формально-количественный учет информации, но и оценка ее содержания — вопрос, который обсуждается в настоящее время философами.

Оценка семантического (а не только формального) объема информации — задача чрезвычайно сложная, однако нельзя считать ее принципиально неразрешимой. Возможно, один из путей заключается в том, чтобы оценивать объем содержания информации, исходя из тех изменений, которые она вызывает в поведении воспринявшего ее организма.

Статью А. Ньюэлла и Г. Саймона о моделировании человеческого мышления на вычислительной машине также можно причислить к психологическому направлению биокибернетики. Эти авторы уже более десяти лет разрабатывают методы эвристического моделирования психики. К сожалению, современная нейрофизиология еще не позволяет дать детальное объяснение психики человека. Поэтому и возник такой подход — изучать непосредственную действительность мышления, его чисто психологические закономерности в про-

цессе решения различных проблем и затем делать выводы о программах или алгоритмах мышления. Собственно, этим можно было заниматься и раньше, но проводить проверку гипотез раньше было невозможно. И лишь появление электронных вычислительных машин открыло здесь поистине врата великих возможностей. Опыт А. Ньюэлла и Г Саймона в этом отношении очень интересен, хотя не следует закрывать глаза и на ограниченность их метода. Авторы статьи недооценивают тот факт, что у человека мышление никогда не бывает изолированным от других проявлений психики, прежде всего эмоций и чувств.

Чувства могут двояко воздействовать на логические процессы. Во-первых, от эмоционального состояния зависит включение той или иной программы обработки информации. Во-вторых, эмоциональное состояние воздействует на память, облегчая воспроизведение одних сведений и тормозя (или даже блокируя) использование других. А. Ньюэлл и Г Саймон игнорируют это обстоятельство. Оно подчеркнуто в другой статье. Однако автор ее, Р. Бернгард, высказывая столь разумное, на наш взгляд, соображение, не сумел убедительно развить его, оставаясь в плену фрейдистских построений. Совершенно несостоятельны утверждения автора о том, что «только с помощью методов классической психо-аналитической теории» можно изучить и объяснить психику человека. Автор в духе фрейдизма склонен к переоценке «первичных процессов и инстинктивных систем» в детерминации сознания.

В сборник включены статьи Р. Гольдэкра и М. Клайнса. В них ни слова не сказано о вычислительных машинах, программах и алгоритмах. Зато авторам удалось показать, каким образом давно известные биологические, физиологические и клинические факты могут быть переосмыслены и глубже интерпретированы в свете новых идей, в частности с помощью понятия обратной связи.

Кибернетические идеи, понятия «программа» и «управление» явились тем толчком, который привел к созданию новой, правда, весьма умозрительной теории функционирования мозга. Ее развивает Р. Галамбос — известный нейрофизиолог, специалист в области физиологии слухового анализатора. Галамбос приводит небезынтересные факты, но теории его не хватает солидных экспериментальных доказательств, так что речь идет скорее лишь о гипотезе. Она все же заслуживает внимания, ибо в последние годы среди нейрофизиологов раздаются голоса в пользу того мнения, что глия является не только опорно-трофической тканью мозга, но и играет известную роль в хранении информации мозгом, т. е. в функции памяти.

Против чрезмерного увлечения кибернетической фразеологией, против бездумного перенесения психологических терминов из области психологии в область вычислительной техники предостерегает Р. Купер в статье «Механизмы искусственного и естественного мозга». Такое предостережение нам представляется весьма уместным и актуальным.

Наконец, в сборник включена статья, посвященная проблеме восприятия и переработки информации мозгом человека в состоянии естественного сна. Периодическая печать уделяет этой теме значительное внимание, которое иногда приобретает характер нездоровой сенсации. В статье Ч. Саймона и У. Эммонса приведены результаты объективного экспериментального изучения такого феномена. Результаты американцев в основном совпадают с данными со-

ветского невропатолога А. М. Свядоца (см. «Вопросы психологии», 1962, № 1), который начал изучать гипнопедию еще в довоенные годы. Наблюдения авторов заставляют с большой осторожностью относиться к необоснованно широковещательным заявлениям

Таким образом, в сборнике представлены статьи, посвященные весьма широкому кругу биокибернетических вопросов. Экспериментальные факты, а также конструктивные идеи, содержащиеся в статьях сборника, дают богатую пищу для размышления и, конечно, заинтересуют советского читателя. Этого нельзя, однако, сказать о философской и методологической стороне предлагаемых работ. Здесь позиции авторов зачастую довольно путанные и шаткие. Особенно это относится к статье Р. Бернгарда. Его размышления об аналогиях между физическими и психическими процессами выглядят дилетантскими, а рассуждения о сущности познавательных процессов показывают явную недостаточность его философского багажа.

Предлагаемый сборник найдет широкий круг читателей — его с пользой для себя прочитают и биологи, и врачи, и инженеры, интересующиеся применением кибернетических идей в биологии.

Н. М. Амосов

ИНФОРМАЦИЯ И ПАМЯТЬ

Дж. Миллер

Не все запоминается одинаково. Выучить наизусть короткое стихотворение легче, чем длинное. Вспомнить забавный рассказ легче, чем скучный. Но краткость и остроумие — не единственные факторы, влияющие на запоминание. Важно и то, как соединен материал. Если новая задача прочно связана с уже известным нам раньше, то прежние знания можно с успехом приспособить к новой ситуации. Если же такой связи нет — с задачей справиться значительно труднее.

Представьте себе, что вы обучаете детей геометрии. Вы уже научили их вычислять длину гипотенузы по двум катетам. Теперь вы приступили к новой задаче — необходимо определить площадь прямоугольного треугольника по катету и гипотенузе. Это можно сделать двумя методами.

Метод А. Вы объясняете ученикам, что площадь прямоугольного треугольника равна половине площади прямоугольника, стороны которого равны катетам. Незвестный катет вычисляется по теореме Пифагора, затем катеты перемножаются — это дает нам площадь прямоугольника. Подовина этой площади и есть искомая величина.

Метод В. Требуется запомнить 6 операций, а именно:

- 1) сложить длину гипотенузы и катета;
- 2) вычесть из длины гипотенузы длину катета;
- 3) умножить первый результат на второй;
- 4) извлечь квадратный корень из этого произведения;
- 5) умножить положительное значение корня на известный катет;

б) разделить это произведение на два.

Какой метод вы предпочтете? Вряд ли кто-нибудь, кроме психолога-экспериментатора, остановится на методе В. Метод А — полезный и понятный. Метод В кажется бессмысленным.

Но почему? Что же плохого в методе, который логически безупречен и всегда приводит к верным результатам?

Напрашивается такой ответ. Метод А дает ученику возможность понять, что он делает. Но тогда нужно ответить на вопрос — а что это значит: понять то, что делаешь? И для чего это нужно?

Отметим, что метод В — это как раз тот метод, с помощью которого инструктируют современную вычислительную машину. Машина способна выполнять арифметические операции — сложение, вычитание, умножение, деление и извлечение корня. Инструкция для машины — это письменная программа, вроде последовательности операций метода В, но только еще более ясная и подробная, содержащая еще меньше сведений об общей стратегии решения.

Инженеры мечтают построить машину, которая сама будет создавать себе программу. Ей только зададут проблему и машина «поймет» ее достаточно хорошо, чтобы разработать все необходимые операции и подпрограммы, нужные для решения. Желательность создания таких машин очевидна, потому что сейчас очень много времени и труда уходит на составление подробных инструкций; а затем еще нужно их закодировать и ввести в машину.

В большой вычислительной машине таких подпрограмм — тысячи. Поэтому значительно экономнее «научить» машину разрабатывать их, чем самим создавать устройства для их хранения и извлечения. Другими словами, лучше, чтобы в памяти машины хранились правила, по которым создаются программы.

Выходит, что и машина «понимает» — метод В нехорош. Каждая подпрограмма есть изолированная операция, которая должна храниться в определенном месте. Не делается никаких попыток связать эти операции с другой информацией, доступной машине.

Итак, преимущество метода А заключается в том, что он позволяет лучше, полнее использовать емкость памя-

ти. При обучении геометрии метод А вскрывает отношение поставленной задачи к тем сведениям, которые ученик уже усвоил, и дает ему возможность вывести правила, по которым он самостоятельно составит программу вычисления. Метод В менее эффективен, так как он требует механически запомнить большой объем информации.

Тесная связь между памятью и мышлением легко демонстрируется во всех случаях, когда мы не можем решить задачу просто потому, что не в состоянии вспомнить необходимую информацию. Поскольку наша способность к запоминанию ограничивается возможностью нашего интеллекта, мы пытаемся организовать материал так, чтобы эффективнее использовать свою память.

Мы не можем одновременно думать обо всем, что мы знаем. Когда мы пытаемся провести длинное рассуждение, то трудно удержать в памяти каждый шаг, каждое его звено. Мы рискуем заблудиться во множестве подробностей. 300 лет тому назад Рене Декарт в своем незаконченном трактате «Правила мышления» писал:

«Если я нашел путем независимых мыслительных операций отношения между А и В, между В и С, между С и D, наконец, между D и Е, то это еще не позволит мне понять отношения между А и Е. Истины, усвоенные ранее, не дадут мне точного знания об этом, если я не смогу одновременно припомнить все эти истины. Чтобы помочь делу, я буду просматривать эти истины время от времени, стимулируя свое воображение таким образом, что, осознав интуитивно один факт, оно тут же перейдет к следующему. Я буду поступать так, пока не научусь переходить от первого звена к последнему настолько быстро, что ни одна из стадий этого процесса не будет «спрятана» в моей памяти, а я смогу созерцать своим мысленным взором всю картину сразу. Этот метод разгрузит память, уменьшит инертность мышления, увеличит возможности разума».

Наблюдение Декарта знакомо всем, кому приходилось запоминать стихи или осваивать математические доказательства. Повторение прекрасно помогает организовать материал, связать независимые части в единое целое, уменьшая тем самым нагрузку на память и давая мозгу возможность мыслить. Этот процесс подобен за-

мене длинного выражения одним символом, так как каждый раз писать длинное выражение неэкономно.

Практические преимущества этого процесса объединения частей стали для меня более ясными, когда я впервые увидел одну из тех цифровых вычислительных машин, в которых используются маленькие неоновые лампы, показывающие, какие реле сработали. В одном ряду было 15 ламп, и я не мог понять, каким образом человек ухитряется воспринять и запомнить — даже на десяток секунд — сразу столько элементов. Но я быстро заметил, что инженеры и не собирались рассматривать каждую лампу как самостоятельную единицу информации, а применяли своеобразный код. Они группировали лампы в триады, и каждое из возможных сочетаний в триаде получало свой номер, наименование, символ. Если не загоралась ни одна лампа в триаде (000), то такая триада получала наименование 0. Если триада была — — + (001), то ей давали наименование 1; триада — + — (010) обозначалась как 2; триада — + + (011) — как 3 и так далее. Запомнив этот простой код, инженеры могли, видя перед собой множество ламп (например, 011000101001111), разбить их на триады 011 000 101 001 111, которые они немедленно кодировали как 30517. Значительно легче запомнить эти 5 цифр, чем длинный ряд из 15 вспыхнувших и потухших ламп. Реорганизация материала позволила инженерам уменьшить первоначальную сложность задачи и свести ее к более легкой для запоминания, не отбросив и ничего не потеряв из первоначальных данных.

Существует аналогия между этим простым приемом и тем, что описано у Декарта. Каждый этап, так называемый шаг, длинного рассуждения подобен одиночной лампе. Повторение организует эти шаги в более крупные единицы, подобные нашим триадам. При многократных повторениях длинные рассуждения разбиваются на все более крупные составные части, которые в мышлении обозначаются простыми символами.

* *
*

Первым человеком, предложившим пробу для определения объема одномоментного восприятия, был, кажется, сэр Вильям Гамильтон, шотландский философ

XIX в. Он писал: «Если вы бросите на пол пригоршню камешков, то окажется, что очень трудно сразу воспринять больше 6—7 камешков, не перепутав их».

Неизвестно, на самом ли деле Гамильтон бросал камешки на пол, ибо он был сторонником мысленных экспериментов. Но нашелся читатель, который понял его буквально. В 1871 г. английский логик Джевонс сообщил, что бросал бобы в коробку и, определяя их количество (с одного взгляда, не пересчитывая), он никогда не ошибался, когда бобов было 3 или 4; иногда ошибался, когда их было 5; ошибался в половине случаев, когда бобов было 10, и почти всегда ошибался, когда их было 15.

Опыт Гамильтона был повторен в весьма строгих условиях эксперимента, его первоначальное интуитивное заключение было подтверждено. Человек в состоянии воспринять 5—6 точек, не прибегая к их пересчитыванию. Если точек больше — возможны ошибки. Но определить количество бобов или точек — это задача восприятия, не обязательно связанная с мышлением. Каждый шаг в рассуждении имеет свою собственную структуру, отличную от других шагов и от безмысленных бобов в коробке Джевонса. Лучшим тестом на «восприятие» была бы проверка способности запоминать различные символы в данной последовательности. Джозеф Джекобс впервые провел такой опыт в 1887 г. Он читал вслух беспорядочный набор цифр и предлагал слушателям записать эту последовательность по окончании чтения. Нормальный взрослый человек может воспроизвести последовательность из 7—8 цифр, не более. Применение этой пробы сразу же показало, что объем кратковременной памяти тесно связан с общим уровнем интеллекта. Джекобс сообщил, что этот объем увеличивается с возрастом — до определенного предела, разумеется (до 19 лет). Его опыт вскоре был использован — да и сейчас используется — в интеллектуальном тесте Бинэ. Ценность этого теста очевидна, так как слишком маленький объем запоминаемых цифр действительно является надежным показателем умственной недостаточности; однако большой объем одномоментного запоминания совсем не обязательно означает высокий уровень интеллекта.

Человек, который может сразу воспринять 8 десятичных цифр, обычно может запомнить 7 букв алфавита или

6 односложных слов (взятых наугад). Но 6 слов содержат значительно больше информации (определяемой по правилам теории информации), чем 7 букв или 8 цифр. Мы оказываемся в положении кошелька, который вмещает не более 7 монет — безразлично медных или золотых. Очевидно, если мы наполним кошелек не медью, а золотом, то богатство наше будет большим. Точно так же и емкость своей памяти мы можем использовать более эффективно, заполняя ее символами, более богатыми в информационном смысле — идеями и образами, а не медными монетами, то есть цифрами.

*

*

Математическая теория связи, развитая Винером и Шенноном, дает единицу для измерения информации. В той ситуации, которую мы рассматриваем, объем информации, приходящейся на один символ, равен логарифму (по основанию 2) числа возможных выборов. Информация, содержащаяся в одной двоичной цифре, где есть только два выбора, равна $\log_2 2$, или 1 биту. В случае десятичных цифр объем информации на одну цифру равен $\log_2 10$, или 3,32 бита. Каждая буква алфавита (английского) несет $\log_2 26$, или 4,7 бита информации. Когда мы вычисляем количество информации, приходящееся на одно слово, мы должны учитывать объем словаря, из которого взяты слова. В английском языке примерно 1000 односложных общеупотребительных слов. Поэтому в грубой оценке количество информации, приходящееся на одно слово, равно $\log_2 1000$, или примерно 10 битам.

Человек, который в состоянии повторить 9 двоичных цифр, обычно может повторить 5 слов. В 9 двоичных цифрах 9 битов; в 5 словах — около 50 битов. Таким образом, единица Винера — Шеннона количественно показывает, как можно улучшить эффективность памяти, пользуясь более богатыми — в информационном смысле — единицами. Инженеры, которые группировали лампы реле в триады и запоминали кодовые обозначения триад, оказывались в состоянии удержать в памяти втрое больше информации, чем без помощи этого приема. Весьма впечатляет, как тренированный человек вос-

принимает последовательность из 40 двоичных цифр (со скоростью 1 цифра в секунду) и затем сразу же безошибочно воспроизводит всю последовательность. Обычно в таких случаях говорят о мнемонических трюках — термин, который свидетельствует о недоверчивости психологов. Мысль о том, что все это ловкий трюк, отнюдь не стимулировала психологов проводить серьезные исследования подобных явлений.

Говорят, что искусственные приемы быстро забываются, но здесь все зависит от того, какой прием был применен — разумный или бессмысленный. В детстве учитель говорил нам, что мнемонические приемы лишь немногим лучше зубрежки, и что мы никогда ничего не поймем, если будем к ним прибегать. Поэтому мы скрывали свои методы запоминания. Несомненно, если бы убеждения позволили ему, учитель смог бы показать нам более действенные приемы запоминания, чем те, которые мы придумывали сами. Мне очень помог тот учитель, который обратил мое внимание на такое совпадение: ордината — это вертикальная линия, и при произнесении слова «ордината» губы движутся по вертикали; а абсцисса — горизонтальная линия, и при произнесении слова «абсцисса» губы движутся горизонтально. Этот учитель избавил меня от путаницы, так же как тот, который объяснил, что число дней в месяце можно определять по костяшкам пальцев.

*

*

Все наши рассуждения приводят нас к выводу, что метод А значительно превосходит неудобный метод В, так как он позволяет лучше, экономнее использовать механизмы памяти для запоминания и воспроизведения информации. Шесть произвольных операций метода В организованы в методе А вокруг трех главных аспектов проблемы, так что каждый аспект может быть представлен символом, который учащийся уже усвоил ранее. Этот процесс по существу не отличается от метода, использованного инженерами для запоминания последовательности включенных ламп.

Очевидно, все сложное символическое обучение происходит этим путем. Материал сначала организуется в «куски», которые, если между ними установлена связь,

могут быть заменены символами-сокращениями, начальными буквами, схемами, именами и т. д. Постепенно множество аргументов и рассуждений переводится на язык нескольких символов, которые могут быть восприняты человеком одновременно. Чтобы проверить эту гипотезу, мы провели серию опытов по определению объема кратковременной памяти. Перед нами стоял вопрос: влияет ли объем информации, приходящийся на один символ (то есть число возможных альтернативных выборов на один символ), на число символов, которые мы можем запомнить. Легче ли нам запомнить случайную последовательность из 100 односложных слов, чем 100 цифр или 100 букв алфавита? Этот вопрос не праздный, так как от него зависит, каким образом лучше организовать материал для изучения. В наших опытах мы предлагаем испытуемым запомнить три разных вида последовательностей, состоящих из взятых наугад символов. Одна последовательность была составлена из 32 символов (все буквы алфавита плюс несколько цифр), другая — из 8, третья — из 2. Испытуемый читал написанную на бумаге последовательность со скоростью 1 символ в секунду, а затем ему предлагалось воспроизвести ее на бумаге. Длина последовательности была 10, 20, 30 и 50 символов. Если испытуемый не мог точно воспроизвести последовательность, ему давали прочесть ее повторно. Количество чтений, которое требовалось для правильного воспроизведения, служило мерой трудности задания. Как и следовало ожидать, легче других запомнились последовательности, составленные из двух символов. Для них требовалось на 20% меньше экспозиций. Ясно, что 6 нулей и 6 единиц легко запомнить, так как здесь фактически «укорачивается» последовательность. Но для двух других типов последовательностей (из 8 и из 32 символов) не отмечалось никакой разницы в скорости запоминания. Иными словами, было одинаково легко (или трудно) запомнить последовательность, содержащую большое количество информации, и равную по длине, но содержащую мало информации. Весьма близкие результаты получили Броден и Шмидт, которые не знали о нашей гипотезе и проводили опыты, руководствуясь другими соображениями.

Мы считаем себя вправе сделать предварительное заключение, что наша память в состоянии удержать лишь

ограниченное число символов, независимо от того, какое количество информации представлено каждым символом. Поэтому-то и оказывается столь полезной разумная организация изучаемого материала, которая позволяет выразить весь представленный объем информации ограниченным числом символов. Этим существенно облегчается запоминание.

До каких же пределов нужно группировать материал и выражать его символами? Какие выбрать группы для организации? При выяснении этого могут помочь лингвисты. Дело в том, что язык имеет иерархическую структуру — звуки, слова, фразы, предложения. Именно здесь нужно искать образец для иерархии запоминаемых групп.

Известно, что английское предложение имеет 75% -ную избыточность. Оно в четыре раза длиннее, чем было бы при максимально экономном использовании алфавита. На первый взгляд это кажется парадоксальным. Если длина сообщения есть главный источник затруднений для памяти, то зачем же делать предложения более длинными, чем это нужно? Парадокс возникает из-за неточного определения понятия «длина предложения». Стоит ли предложение из 100 букв? Или из 25 слов? Или из 6 логических групп?

Наши книги содержат 75% избыточных букв. Но это не значит, что можно отбросить 75% идей. Ведь именно «группы», называемые идеями, и нужно брать в основу определения психологической длины текста. Последовательность из 25 слов, объединенных в предложение, легче запомнить, чем последовательность из 25 слов, наугад взятых из словаря. Предложение легче запомнить, так как слова легко объединяются в знакомые группы. В психологическом понимании предложение из 25 слов короче, чем 25 не связанных между собою слов. Выходит, что слово не является подходящей единицей для измерения психологической длины предложения. Возможно, филологи выделяют большую единицу, чем слово, и помогут нам решить проблему.

Когда мы запоминаем предложение, на помощь приходят все наши знания лексики и грамматики. Это один из самых броских примеров применения прошлых знаний к решению новой задачи. Такое применение очень выгодно, так как оно уменьшает эффективную длину ма-

териала, который надлежит запомнить. Изучая язык, мы приобретаем автоматическую способность и привычку использовать те последовательности, которые подчиняются законам языка.

В процессе использования прошлых знаний есть три стадии, описанные Джоном Локком в его трактате «Опыт о человеческом разуме». Он, в частности, писал: «Разум делает три вещи. Во-первых, он отбирает некоторое число идей. Во-вторых, он связывает их между собой, превращая их в одну идею. В-третьих, он окончательно скрепляет их, давая этой новой идее имя».

Люди формируют такие новые идеи для удобства обмена, но комбинация идей зачастую ведет к путанице, ибо это продукт нашего разума, не обязательно отражающий реальное соотношение объектов.

Развитие математической теории связи в XX в. позволяет лучше понять, каким образом облегчается связь и обмен идеями. А если прибавить, что размеры, а не разнообразие материала ограничивают возможности нашей памяти, то это поможет нам понять экономичность нашей познавательной системы, то есть мозга.

Организация и символизация материала — весьма распространенная форма человеческой деятельности. Если нам удастся сделать эту организацию более эффективной, мы сумеем, быть может, как предсказывал Декарт, «разгрузить память, уменьшить инертность нашего мышления и значительно увеличить возможности нашего разума».

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

А. Ньюэлл, Г. Саймон

Пути научного исследования в любой области знаний зависят от двух факторов. С одной стороны, их стимулируют ключевые проблемы, то есть вопросы, решение которых продвинет вперед теорию или даст основу для важных практических приложений. С другой стороны, важным стимулом является наличие «хороших методик», то есть точных и надежных инструментов для наблюдения и анализа.

В счастливые периоды истории науки эти два стимула не противостоят, а дополняют один другого и исследовательская работа идет по самому плодотворному пути. Если это условие не выполняется — тогда наука под угрозой. Одни исследователи настаивают на разработке важных проблем, но не имеют для этого достаточно эффективных методов. Другие настаивают на разработке проблем, которые можно решить уже существующими методами, хотя проблемы эти и не являются существенно важными.

Расхождение между целью и средствами есть в любой науке — и в биологии, и в метеорологии, и в математике. Но особенно бросается это в глаза в психологии. По такому признаку можно легко классифицировать большинство психологических исследований.

«Гештальт-психология» — направление, которое ориентируется на решение важных проблем. Другое направление в психологии, «бихевиоризм», опирается на доступные, уже существующие методы.

Не случайно исследование человеческого мышления, методов решения проблем, личности, словесного поведе-

ния и социальных феноменов привлекает «гештальтистов», а изучение поведения животных, вопросов физиологической психологии, памяти и простых двигательных навыков — это поле деятельности «бихевиористов». Но в послевоенный период граница между этими двумя направлениями стала менее отчетливой. Главная причина — новые идеи, развитые кибернетикой и науками о природе сообщения и связи. Сложные электронные приборы с обратными связями обеспечивают адаптивное поведение, и это сделало для нас более ясными понятия «поиск цели» и «обучение». Эти понятия могут стать «операционными».

«Прояснение» понятий позволило психологам, ориентирующимся на решение проблем, дать более точное определение многим прежде расплывчатым понятиям, а психологам, ориентирующимся на уже разработанные методы, — заняться проблемами, которые раньше казались слишком сложными для них.

Развитие психологии в наше время представляет собой нечто большее, чем простое заимствование новых терминов из других наук. Это развитие включает в себя применение цифровых вычислительных машин для создания теорий и для их проверки. Опыт показывает, что проблемы психологии можно успешно изучать и решать новыми методами.

Мы рассмотрим в нашей статье одно из важных применений вычислительных машин в психологических исследованиях — использование их для моделирования процессов человеческого мышления. Мы не будем делать обзора применения вычислительных машин в этой области, а приведем один пример из нашей работы.

Методика изучения поведения

Обычный, классический объект психологических опытов — студент первокурсник. Мы сажаем его за стол, даем задачу, записанную в определенных символах, например выражение

$$R.(\sim P \supset Q)^*, \quad (1)$$

и предлагаем получить из этого выражения другое:

$$(Q \vee P).R, \quad (2)$$

* Прим. переводчика: \vee — знак дизъюнкции; \cdot — знак конъюнкции; \supset — знак импликации.

применив к первому выражению последовательность преобразований, которая записана на листке бумаги, лежащем перед студентом. Читатели, знакомые с символической логикой, узнают эти выражения и символы действий. Но испытуемые не знали формальной логики. Они читали первое выражение как «эр, точка, в скобках тильды, пэ, подковка, кю», то есть не понимали смысла этих выражений, а просто манипулировали с ними, как с организованным набором символов. Если читатель хочет подробно разобраться в приведенном ниже материале, он должен принять ту же точку зрения.

Мы просили испытуемого читать вслух каждое правило, которое он собирается применить, и выражение, которое должно получиться в результате этого применения. Затем экспериментатор писал полученное выражение на доске. Испытуемому было предложено говорить вслух о том, что он делает, и о том, что он думает, то есть мыслить вслух. Все это записывалось на пленку. Приводим протокол наблюдения над субъектом, который решал вышеуказанную задачу:

- Испытуемый. Я хочу придумать, как бы поменять их местами.
- Экспериментатор. Что именно поменять местами?
- Испытуемый. Буквы R. Тогда у меня в начале каждого выражения будут одинаковые группы. Но, кажется, это можно отложить и сделать в самом конце, если только...
- Экспериментатор. Применив какое правило?
- Испытуемый. Применив, например, правило 2. Это потребует перемены знака.
- Экспериментатор. Старайтесь разговаривать, думать вслух, если можете.
- Испытуемый. Хорошо... Посмотрю на правило 3, оно, кажется, не имеет практического значения. А правило 4 выглядит очень интересно. Имеются три части, подобные этим, и есть точки, так что соединение... кажется легко сделать, но порядок не меняется. Нужно, чтобы

P и Q поменялись местами, потому... А здесь у меня подковка. Она, кажется, здесь не нужна. Поищу, как бы от нее избавиться. Ага, есть правило 6. Применю правило 6 ко второй части нашего выражения.

Хотите сделать это?

Экспериментатор.

Да.

Испытуемый.

Хорошо. К первому выражению вы применили правило 6. Получилось выражение R . $(P \vee Q)$.

Экспериментатор.

Теперь я применю правило 1.

Испытуемый.

Ко всему выражению или только к правой его части?

Экспериментатор.

И там, и здесь.

Испытуемый.

Давайте, но по очереди. Где вы хотите применить его сначала?

Экспериментатор.

Ну, сделаю сначала с P и Q .

Испытуемый.

R . $(Q \vee P)$. Теперь ко всему выражению?

Экспериментатор.

Да.

Испытуемый.

Применив правило 1, получите выражение $(Q \vee P)$. R .

Экспериментатор.

Вот и все.

Испытуемый.

Таким образом, наша цель состоит в том, чтобы создать теорию процессов, определяющих поведение испытуемого в ходе решения задачи, и проверить эту теорию путем сравнения действительного поведения испытуемого с тем поведением, которое предсказывает теория. Какую же помощь может оказать нам вычислительная машина?

Нечисловая программа как теория

Электронная цифровая вычислительная машина есть устройство для сложения, вычитания, умножения и деления, и притом с высокой скоростью. Но эта машина способна на большее. Выполнение арифметических операций обеспечивается с помощью программы, которая заложена в память машины и определяет порядок действий.

Программа составлена так, что порядок действий зависит от результатов предшествующих операций. Инструкции, входящие в программу машины, и данные, с которыми машина манипулирует, являются символическими выражениями. Но если данные обычно выражают числами, то инструкции — последовательностью слов — предложениями в повелительном наклонении. Когда машина выполняет инструкцию «сложить А и В», то результат этого такой же, как и у человека, которому предложили «сложить число А и число В».

Значит, вычислительная машина — это не просто устройство для манипулирования с числами. Это устройство манипулирует также с символами. Причем символы могут выражать собою и числа, и буквы, и слова, и даже несловесные и нечисловые сущности.

Вычислительная машина имеет устройства входа, которые дают ей возможность читать символы. Машина может запомнить их, снимать копии с символов, сравнивать их для опознания, стирать записанные символы, обнаруживать различие между ними и менять свое поведение в зависимости от результатов сравнения символов.

Вернемся к нашему испытываемому субъекту. Его поведение состоит из последовательности символов. Но не потому только, что он думал вслух. Положение не изменилось бы, если бы он давал ответы в письменной форме или путем нажатия кнопок. Во всех случаях его поведение можно было бы описать как «продуцирование символов».

Можно высказать такой постулат. Процессы, происходящие внутри субъекта — в органах чувств, нервной ткани, мышцах — это тоже процессы, манипулирующие с символами. Иными словами, их механизм включает в себя кодирование, сохранение, передачу, снятие копий (дублирование) и т. д. Мы не будем подробно обосновывать этот постулат. Если с его помощью удастся объяснить поведение — это будет лучшее его обоснование.

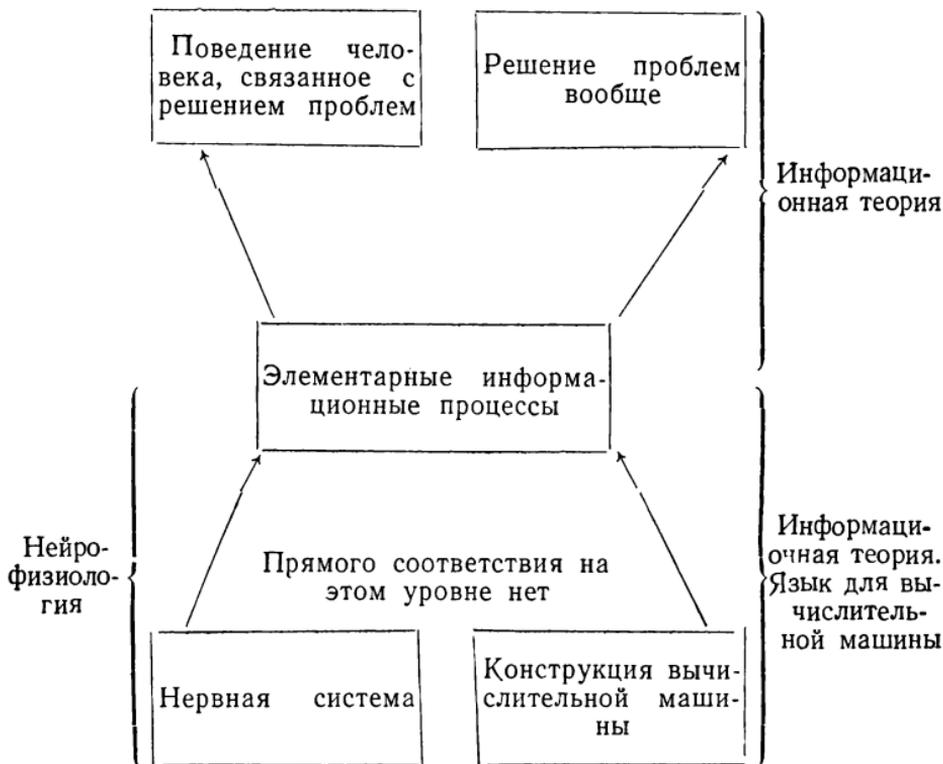
Не будем также гадать о точных нейрофизиологических механизмах и процессах, лежащих в основе передачи символов, их хранения, кодирования и т. д.

Мы попытаемся дать объяснения на других уровнях, отнюдь не отрицая при этом, что механизм поведения можно в конечном счете свести к физиологии, химии и, наконец, к физике. Ведь с помощью химических уравнений мы объясняем реакцию, происходящую в пробирке,

а затем объясняем химическое уравнение с помощью квантовой физики. Точно так же мы постараемся объяснить — что же происходит в процессе мышления, в процессе решения задачи, не ставя перед собой цели — объяснить эти процессы в нейрофизиологических терминах.

Подход к построению теории сложного поведения показан на схеме 1.

Схема 1.



Нас интересует верхняя часть схемы 1 — мы хотим свести поведение к информационным процессам. Если мы сможем это сделать, нам потребуется дополнить теорию — объяснить информационные процессы с помощью неврологических механизмов. Нужно вгрызаться в гору нашего невежества с двух сторон, а не пытаться прорыть туннель лишь с одной стороны.

Из схемы 1 видно, какую помощь может оказать вычислительная машина. Мы постулируем, что поведение человека определяется программой, организованной как набор элементарных информационных процессов. Мы кодируем и вводим в вычислительную машину набор

подпрограмм, каждая из которых соответствует одному из постулированных информационных процессов. Затем мы составляем из этих подпрограмм программу, которая заставит вычислительную машину вести себя так, как ведет человек, то есть продуцировать те же символы (если и человек и машина решают одну и ту же задачу).

Если удастся создать программу, которая будет приближенно напоминать человеческое поведение в целой группе ситуаций, связанных с решением проблем, мы сможем утверждать, что наша программа — это теория поведения. Оценка теории будет зависеть от того, насколько широкий круг явлений она объясняет и насколько она экономна.

Мы не предполагаем, что устройство мозга и машины одинаково. Мы только утверждаем, что оба устройства могут добиваться цели, манипулируя символами, и что вычислительную машину можно запрограммировать так, чтобы она выполняла элементарные информационные процессы, функционально равноценные тем процессам, которые происходят в мозгу. Но когда мы пытаемся свести информационные процессы к более простым, то мозг и машина оказываются очень далекими.

С формальной стороны программа вычислительной машины (в качестве теории) имеет тот же эпистемологический статус, что и набор дифференциальных уравнений, используемых в качестве теории:

1. Если дан набор начальных и граничных условий, то дифференциальные уравнения могут предсказать состояние системы в последующие моменты времени.

2. Если даны начальные и последующие воздействия на систему (из внешней среды), то программа предскажет состояние в последующие моменты времени. Под состоянием в данном случае мы понимаем продуцирование субъектом символов и состояние его памяти.

С помощью вычислительных машин мы конструируем «уравнение» нечисловых символических феноменов, не переводя эти феномены в числовую форму.

Машина для решения проблем

Наши попытки объяснить решение проблемы (приведенное в протоколе) приняли форму программы для вычислительной машины. Мы назвали ее программой общего решения проблем (ОРП).

Эта программа имеет средства для представления символических структур, соответствующих логическим выражениям; соответствующих правилам преобразования выражений и новым выражениям, полученным в результате этих преобразований.

Проблема, взятая в нашем примере, представляется в таком виде:

«преобразовать 1 в 2».

Символические структуры, соответствующие логическим выражениям, мы называем объектами, а соответствующие полученным выражениям — целями. Программа достигает цели, применяя к объектам операторы, то есть превращая их в новые объекты.

Программа заключается:

в применении операторов к объектам;

в сравнении объектов (для этого внутри программы продуцируются символы, которые определяют различие между сравниваемыми объектами);

в продуцировании новых целей из данных объектов, операторов и различий.

Для достижения трех типов целей в программе используются следующие методы.

I. Цель — преобразование. Пример приведен выше: преобразовать объект А в объект В.

Метод 1. Сравнить А и В и определить различие между ними D. Если различия нет, то проблема решена. Если различие есть, тогда требуется уменьшить его. В результате А будет преобразовано в новый объект С. Затем С преобразуется в В.

Задача решена.

Метод 1-а. Это метод планирования. Из-за недостатка места мы не будем описывать его подробно. Метод заключается в замене объектов соответствующими абстракциями, скажем A_1 и B_1 . Затем производится преобразование A_1 в B_1 с помощью других методов, а примененная последовательность операций используется в качестве плана для преобразования А в В.

II. Цель — применение оператора. Например, применить оператор Q к объекту А.

Метод 2. Определить, удовлетворяет ли А условиям применения оператора. Если да, то применить оператор. Если нет, то определить различие между А и объектом, к которому оператор Q применим.

Уменьшить различие между этими объектами.
Получаем новый объект A_1 — модификацию A .

Теперь применяем оператор Q к A .

III. Цель — уменьшение различия. Например, уменьшить различие D между объектами A и B .

Метод 3. Найти оператор Q , который имеет отношение к этому различию. Применить оператор Q к A .

В результате A будет преобразовано в объект, который меньше отличается от B .

Таким образом, программа решения проблем носит общий характер, так как она не связана с природой объектов, различий и операторов. Поэтому ее можно применять в разных областях, обеспечив информацией о конкретных объектах, различиях и операторах. Для решения чисто логических задач программу нужно обеспечить данными для представления логических выражений, критериями для выявления различий между выражениями и списком операторов (должны быть описаны правила игры).

Наша программа решения проблем обеспечена также списком операторов, которые могут быть использованы для устранения различий.

В другой статье мы указали, каким образом программа может использовать свои собственные процессы решения проблем для создания таблицы различий и как она может даже включать подходящий набор различий, если при переключении на новую задачу эти различия не были заданы.

Проверка теории

Насколько верна наша теория?

Прежде всего можно спросить, действительно ли эта программа может решать проблемы того же рода, что и проблемы, стоящие перед человеком. Бесспорно, да.

Функционирование вычислительной машины включает в себя систему механизмов, состоящих из элементарных информационных процессов. Эти механизмы вполне могут решать проблемы с помощью процессов, функционально равноценных человеческому мышлению.

Общий анализ, который использует вычислительная машина, включает в себя методы, примененные нашим

испытуемым и отраженные в протоколе. Мы тщательно изучили 20 протоколов испытуемых, которым было предложено решить логическую задачу. Поведение испытуемых всегда оставалось в рамках анализа по типу средство—цель. Те три типа целей, которые описаны выше, охватывают $\frac{3}{4}$ всех целей, которые ставили перед собой испытуемые. Другие цели, которые встречаются в протоколах, тесно связаны с описанными. Три метода, которые мы привели, использовались испытуемыми в подавляющем большинстве случаев. Иногда, правда, использовался метод планирования (см. метод 1-а).

Протоколы поведения человека при решении других задач — игра в шахматы, решение головоломок, составление программы для вычислительной машины — также содержат много черт, весьма сходных с методами анализа по типу средство—цель, которым пользуется наша вычислительная машина. Приведем выписку из одного протокола (испытуемый играл в шахматы): «Я заметил, что одна из его фигур — ладья — не защищена, и, вероятно, этим можно как-то воспользоваться. Положим, что я продвину пешку и нападую на слона; тогда слон отойдет, я объявлю шах ферзем и заберу ладью. Если же слон возьмет мою пешку, тогда я выиграю фигуру — либо объявлю шах ферзем, либо сразу возьму слона конем».

Эти протоколы не позволяют сделать вывод, что наша программа ОРП полностью объясняет все виды поведения, направленного на решение проблем. Могут быть и другие механизмы. Только в случае, когда программа дает в точности ту же последовательность действия и рассуждений, что и человек, — только в этом случае есть уверенность, что программа воспроизводит поведение человека.

Проведенные испытания носили общий характер и не учитывали различий в программах и испытуемых. А ведь не все испытуемые решают задачи одинаковым путем. Наши наблюдения показывают, что большинство испытуемых в основном воспроизводит программу ОРП, но в деталях имеются различия. Можно продолжить проверку нашей теории, выяснив, какие изменения программы ОРП помогут нам предсказать во всех деталях символическое поведение данного испытуемого в ходе решения задачи.

Приводим сравнение протокола испытываемого человека (правая колонка) с программой, по которой вычислительная машина решала ту же задачу (левая колонка).

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА

ЧЕЛОВЕК

$L_0(Q \vee P) \cdot R$

$L_1 R \cdot (\sim P \supset Q) *$

Цель 1. Преобразовать L_1 в L_0 .

Цель 2. Изменить положение в L_1 .

Цель 3. Применить правило 1 к L_1 . $[A \cdot B \rightarrow B \cdot A]$.

Получается L_2

$(\sim P \rightarrow Q) \cdot R$.

Цель 4. Преобразовать L_2 в L_0 .

Цель 5. Изменить положение в левой части L_2 .

Цель 6. Применить правило 2 к левой части L_2 .

$[A \supset B \sim B \supset A]$. Получается выражение L_3

$(\sim Q \supset P) \cdot R$.

Цель 7. Преобразовать L_3 в L_0 .

Цель 8. Переменить знак в левой части L_3 . Это ничего не дает.

Цель 5.

Цель 9. Применить правило к выражению L_2 $[A \cdot A \rightarrow A]$. Отвергнуть.

Цель 10. Применить правило 4 к L_2

$[(A \cdot B) \cdot C \rightarrow A(B \cdot C)]$.

Цель 11. Применить правило 5 к L_2

$(A \cdot B \rightarrow (\sim A \vee \sim B))$.

Отвергнуть.

Цель 12. Применить правило 7 к L_2

$[A \cdot (B \vee C) \rightarrow (A \cdot$

$B \vee A \cdot C)]$. Отвергнуть.

Цель 13. Применить правило 8 к L_2 $(A \cdot B \rightarrow A)$. Отвергнуть.

Цель 5.

Цель 14. Применить правило 1 к левой части L_2

$(A \vee B \rightarrow B \vee A)$.

Цель 15. Изменить соединительный знак в левой части L_2 (на \vee).

L_0 — выражение, которое нужно получить. L_1 — заданное выражение. Цель 1 — задана экспериментатором. Я хочу придумать, как бы поменять их местами.

Но что именно поменять местами?

Буквы. Тогда у меня вначале будут одинаковые группы. Но кажется... я могу отложить это и сделать в самом конце, если только...

Применив какое правило?

Применив правило 2. Это потребует перемены знака.

Старайтесь разговаривать, думать вслух, если можете.

Хорошо. Посмотрю на правило 3.

Оно, кажется, не имеет практического значения. А правило 4

выглядит очень интересно. Имеются три части, подобные этим, и есть

точки, так что соединение, кажется, легко сделать, но порядок не

меняется. Нужно, чтобы они поменялись местами, потому...

А здесь у меня подковка. Она, кажется, здесь не нужна. Поищу,

как бы от нее избавиться. Ага, есть правило 6. Применю правило

6 ко второй части нашего выражения.

* Прим. переводчика: \sim — знак инверсии; \rightarrow — знак эквивалентности.

- Цель 16. Применить правило 6 к левой части L_2 ($A \supset B \rightarrow \sim A \vee B$). Получается $L_4 (P \vee Q) \cdot R$.
- Цель 17. Применить правило 1 к левой части $L_4 (A \vee B \rightarrow B \vee A)$. Получается $L_5 (Q \vee P) \cdot R$.
- Цель 18. Преобразовать L_5 в L_0 . Эти выражения одинаковы. Задача решена.

Давайте, но по очереди. Сначала где?
Сначала к Р и Q.
R. (Q ∨ P). Теперь ко всему выражению?
Да.
Применив правило 1, получите выражение (Q ∨ P) · R.
Вот и все. Задача решена.

Язык машины гораздо более строг. Для сравнения необходимо такую, например, фразу, как «Я хочу придумать, как бы поменять их местами», выразить в другой форме: «наметить цель — уменьшить разницу, а затем и устранить разницу в положении соответствующих частей у объектов 1 и 2». Сделать такой перевод нетрудно, и он дает нам возможность подробно сравнить сходства и различия в программе поведения человека и вычислительной машины.

Давайте рассмотрим некоторые из этих различий, которые показывают, что программа ОРП в ее нынешней форме еще не является точным отображением человеческого поведения. Человек решает всю проблему в голове, а затем просит экспериментатора записать преобразование на доске. ОРП не делает такого четкого различия между внутренним и внешним миром. Ее путь — скрытое, хотя и выраженное словами, решение проблемы. Например, и человек и ОРП нашли одинаковую последовательность преобразования заданного выражения, но человек открыто применил последовательность правил в обратном порядке.

Другое различие. Некоторым пунктам программы ОРП ничего не соответствует в протоколе испытуемого. Трудно сказать — пробел ли это в нашей теории или испытуемый просто не сообщил вслух о своих действиях.

И все же в протоколах машины и человека много поразительного сходства. Прежде всего и машина и человек обращают внимание на разницу в положении символов, затем — на присутствие (или отсутствие) знака «∨», и меньше всего внимания уделяют соединительным знакам. Именно поэтому и машина и человек отказались

от применения правила 2 для изменения порядка символов, потому что применение этого правила приводит к перемене знака.

Далее. Из всех возможных путей решения задачи и человек и машина выбрали правило 6 и затем дважды применили правило 1.

Таким образом, оказывается возможным сравнить предсказанное поведение человека с его действительным поведением. Мы полагаем, что ОРП дает довольно хорошее приближенное представление об информационных процессах в ходе решения задач. Процесс мышления теперь уже нельзя рассматривать как нечто таинственное.

Заключение

Цифровая вычислительная машина — это устройство, манипулирующее с символами. Если в машину введена соответствующая программа, то она может дать выход, сравнимый со словесно-речевой продукцией человека, который думает вслух при решении задачи. Программа общего решения проблем (ОРП) — это программа, которая приближенно моделирует поведение человека при решении узкого, но важного класса задач. Существуют и другие программы — предшественники ОРП. С их помощью машина доказывает теоремы геометрии, рассчитывает электромоторы, генераторы и трансформаторы, сочиняет музыку, играет в шахматы. Созданы даже программы самообучения, которые совершенствуются на базе приобретенного опыта. Мы не упоминаем о программах использования чисто арифметических способностей машины, так как они сильно отличаются от того, что происходит в мозгу человека. Но структура их включает в себя избирательный поиск возможного решения, то есть они являются эвристическими.

Многие исследователи пытались моделировать другие стороны познавательной деятельности человека, изученной в психологической лаборатории.

Фельдман составил программу моделирования подкрепления.

Файгенбаум составил программу моделирования памяти.

Хант и Ховленд создали программу моделирования формирования понятий.

Имеется много программ опознания образа.

Сейчас многие психологи конструируют и проверяют теории познавательных и информационных процессов, причем эти теории создаются в форме программы для вычислительных машин. Затем производится проверка теории — сравнение поведения испытуемых субъектов с поведением моделирующей установки.

Можно надеяться, что по мере совершенствования нашего искусства использовать вычислительные машины будет сокращаться разрыв между целями психологической науки и ее средствами.

РЕГУЛЯЦИЯ РИТМА И ГОМЕОСТАЗИСА В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ¹

Р. Гольдэкр

Введение

В статье сделана попытка показать, как кибернетический подход может помочь в решении проблем биологии, связанных с саморегулирующимися устройствами и процессами обратной связи, которые проявляются в организме в виде ритма или состояния гомеостазиса.

Особое внимание уделено тем случаям, когда состояние гомеостазиса трансформируется в какое-либо ритмическое состояние, и случаям, когда меняется периодичность ритма. Все эти изменения могут быть следствием либо экспериментального воздействия на систему организма, либо патологических изменений.

Рассмотрены способы противодействия этим изменениям.

Говорят, что природа не терпит пустоты, но очень любит ритм и цикличность. С другой стороны, одно из важнейших свойств живого организма состоит в том, что он может поддерживать состояние гомеостазиса, поддерживать и восстанавливать свою организацию на молекулярном, микроскопическом и макроскопическом уровнях, вопреки всем возмущающим воздействиям.

Вероятно, большинство (если не все) способов поддержания ритма и гомеостазиса связано с механизмами обратной связи. Свойства колец обратной связи становятся все более понятными, особенно благодаря быстро-

¹ С незначительными сокращениями.

му развитию кибернетики. Поэтому растут возможности более эффективного регулирования процессов, в которых проявляются свойства обратной связи.

Настоящая статья ограничивается рамками биологии и медицины, но есть множество других областей, в которых желательно применение регулирования и к которым приложимы те же самые принципы. Эти области связаны с деятельностью человека, например периодические взлеты и падения спроса на товары широкого потребления, периодические войны, периодические эпидемии, флюктуации в плотности популяций животных и растений. Некоторые из этих проблем еще в 1956 г. Де-Латиль рассмотрел в терминах теории обратной связи. Оказалось возможным применить одинаковые принципы к широкому кругу явлений.

Вполне возможно трансформировать состояние поддержания ритма в состояние гомеостаза (и наоборот) путем изменения того, что инженеры называют «фазовым углом», или коэффициентом усиления процесса обратной связи (Винер, 1948). Если его удастся определить в изучаемой системе, то становится возможным эффективное регулирование.

Ритмы, контролируемые обратной связью, имеют ту особенность, что попытка воздействия на них чисто местным или симптоматическим путем обычно обречена на провал, потому что результаты такого воздействия не могут быть предсказаны с помощью обычного «здравого смысла» и зачастую являются прямо противоположными тому, что ожидалось. Примеры тому — бесплодные попытки политиков справиться с экономическими кризисами, инфляцией и гонкой вооружений. То же самое можно сказать о попытке лечить нарушения менструального цикла, маниакально-депрессивный психоз и перемежающуюся лихорадку.

Математическое описание ритмов дал Вольтерра в 1926 г. Он составил и проинтегрировал соответствующие дифференциальные уравнения, а в 1935 г. его выводы были подтверждены экспериментально.

Вольтерра вначале рассмотрел гипотетическую ситуацию: в озере находятся акулы, мелкая рыбешка и неограниченное количество растительной пищи для нее. Акулы поедают мелкую рыбу, количество ее уменьшается, и со временем акулы начинают умирать от голода.

Тогда мелкая рыба размножается, акулы начинают поедать ее и количество акул возрастает. Количество акул и прочей рыбы увеличивается и уменьшается периодически, период колебания одинаков, имеется только сдвиг по фазе. Эта фазовая разность может быть обозначена как «фазовый угол», если воспользоваться инженерной терминологией.

Особенно интересны правила Вольтерра, которые он создал для описания внешнего воздействия на систему. В дальнейшем мы будем не раз обращаться к этим правилам, касаясь вопросов ритма и гомеостазиса, поэтому ниже приводится их перечень. Разумеется, для того чтобы применить их к какой-либо конкретной системе, их нужно выразить в терминах элементов этой системы, то есть нужно выяснить, какие элементы системы соответствуют акулам, какие — мелкой рыбе и какие — растительной пище.

Правила Вольтерра

1. Период осцилляции зависит от коэффициентов увеличения (уменьшения) элементов каждого вида и от первоначального количества элементов обоих видов.

2. Среднее количество элементов обоих видов стремится к постоянной величине, каким бы ни было первоначальное количество.

3. Уничтожение поедающих элементов (акул) ускоряет флюктуации; уничтожение поедаемых элементов (рыбы) замедляет флюктуации.

4. Увеличение степени защиты поедаемых элементов ведет к увеличению количества элементов обоих видов.

5. При одновременном и однообразном уничтожении двух видов отношение амплитуд флюктуаций поедающего и поедаемого видов имеет тенденцию к увеличению.

6. Если попытаться уничтожить оба вида однообразно и пропорционально имеющемуся их количеству, то среднее количество элементов поедаемого вида увеличивается, а поедающего — уменьшается.

В последующих разделах даются примеры приложений некоторых правил Вольтерра.

Биологические примеры

А. Клеточное деление

При рассмотрении клеток, подвергающихся повторному делению (простейшие или бактерии), отмечается близкая аналогия между акулами и рыбами, согласно системе Вольтерра, и ядром и цитоплазмой в клетке. Ядро питается за счет цитоплазмы, а цитоплазма — за счет окружающей среды. Могут быть поступления вещества из ядра в цитоплазму, но в конечном счете это вещество взято все же из цитоплазмы, поэтому мы этими поступлениями будем пренебрегать.

Воздействия с помощью микроманипулятора на нормально делящуюся клетку (была взята амеба из-за ее сравнительно больших размеров) показали, что изменения в цитоплазме приводят к изменениям в ядре, которые достигают своего максимума несколько позже. Так, отрезав часть цитоплазмы, удалось добиться сморщивания ядра, которое достигло максимума через несколько часов (место надреза очень быстро «заживает», и клетка в целом оказывается неповрежденной). Удаление части ядра также приводило к последующим изменениям в размерах цитоплазмы. Значит, существует обратная связь между ядром и цитоплазмой, действующая с фазовым запаздыванием.

Очевидно, периодически повторяющееся клеточное деление подчиняется ритму, регулируемому процессами обратной связи.

Было высказано предположение, что ритмические изменения химических и физических свойств ядра и цитоплазмы периодически пускают в ход механизм клеточного деления. Этот пусковой механизм, как показали исследования с помощью микроманипулятора, оказался независимым от размеров или возраста ядра и цитоплазмы, или от отношения ядро—цитоплазма, или от отношения поверхность—масса. (Ранее предполагалось, что достижение критической величины этих отношений пускает в ход механизм деления).

Среднее количество элементов двух видов стремится к постоянной величине, каким бы ни было оно первоначально. Это положение проверяли двумя путями:

1. Из клетки было удалено до 90% цитоплазмы. И,

несмотря на столь значительное уменьшение количества цитоплазмы по сравнению с обычными физиологическими условиями, после очередного клеточного деления (оно наступило значительно позже, чем у интактной амебы) клетки восстановили обычный объем ядер и цитоплазмы и в дальнейшем продолжали удваивать его вплоть до очередного деления, то есть физиологические размеры были восстановлены.

2. Были обменены ядра старой и молодой амеб, то есть той, которая только приступила к делению, и той, которая только что его закончила. В результате старый компонент—ядро или цитоплазма—вдвое увеличился в размерах перед следующим клеточным делением. Однако после трех или четырех клеточных делений ядро и цитоплазма восстанавливали нормальные размеры.

Таким образом, предсказания Вольтерра для этих типов воздействий оказались верными.

Правило 3. Постоянное уничтожение поедающих элементов ускоряет флюктуации, уничтожение поедаемых элементов замедляет их.

Для проверки этого положения из клетки ежедневно удаляли $\frac{1}{3}$ цитоплазмы. Обычно *Amoeba proteus* делится раз в два дня, но удаление части цитоплазмы предотвращало деление. Когда удаления прекращали или когда удаляли лишь очень небольшую часть цитоплазмы, деление возобновлялось.

Представляет интерес вычисленный период ритмичных колебаний. Вольтерра дает следующее выражение для периода:

$$T = \frac{2\pi}{\log_e 2} \sqrt{t_1 \cdot t_2}$$

где t_1 — время, необходимое для удвоения элементов поедаемого вида (в данном случае цитоплазмы) в отсутствие поедающего вида, t_2 — время уменьшения вдвое количества элементов поедающего вида в отсутствие элементов поедаемого вида.

Продолжительность жизни одной генерации *Amoeba proteus* в условиях культуры составит 50 ч ($T=50$). t_1 было найдено непрямым путем, а именно — путем сравнения скорости роста одноядерной и двуядерной амеб. Двуядерная амeba росла медленнее, а разница, как полагали, соответствовала той цитоплазме, которая взаимо-

действовала со вторым ядром. Путем экстраполяции было найдено, что $t_1=38$ ч. Решив уравнение, находим, что $t_2=1$ ч. При экспериментальной проверке t_2 было определено из скорости сморщивания при удалении части цитоплазмы, при этом также была получена цифра 1 ч при удалении больших объемов цитоплазмы.

Таким образом, период, вычисленный исходя из теории обратной связи, согласуется с цифрами, найденными в эксперименте.

Б. Локомоция амебы

Локомоция амебы является хорошей иллюстрацией обратимого перехода состояния гомеостаза в состояние цикличности.

Кинематографический метод и эксперименты в капиллярных трубках показали, что амеба движется с постоянной скоростью на протяжении промежутков времени, сравнимых с продолжительностью жизни генерации.

Было показано, что это свойство амебы объясняется наличием процессов механо-химической обратной связи, регулирующих силы натяжения в теле плазмы в хвостовой части амебы: контакт геля плазмы с клеточной мембраной вызывает сокращение плазмы. Площадь контакта ограничена и регулируется силой самого сокращения — слишком сильное сокращение уменьшает площадь контакта и наоборот. Таким путем поддерживается постоянная скорость передвижения.

Для того чтобы возник правильный ритм в процессах с обратной связью, необходимы адекватный коэффициент усиления и соответствующий «фазовый угол». Этого удалось добиться, сделав амебу более плоской. Был использован механический клеточный компрессор, с помощью которого «фазовому углу» можно было придать все возможные значения. Оказалось, что при критической толщине амебы (около $1/3$ естественной толщины) произошли внезапные драматические события, началась осцилляция цитоплазмы с периодом 1—2 цикла в секунду и амплитудой 4—20 мк — вместо обычного поступательного движения с постоянной скоростью. Было бы трудно объяснить обратимый переход состояния гомеостаза в состояние ритмического цикла с позиций

старой теории амебоидных движений (теории поверхностного натяжения) или любых других теорий, кроме теории обратной связи.

В. Цилиарный такт

Многие микроорганизмы плавают в водной среде с помощью ритмических сокращений ресничек, расположенных на их поверхности. Частота сокращений — до 20 в секунду. Направление ресничной волны можно изменить на противоположное пропусканием постоянного тока в соответствующем направлении под соответствующим углом к ресничкам. Сокращение ресничек может быть полностью заторможено переменным током (частота 50 *гц*), приложенным под углом к ним (не параллельно).

Механизм этого явления таков. Гель плазмы вошел в контакт с цилиарной мембраной с одной стороны реснички и не вошел с другой. Контакт приводит к сокращению с одной стороны (как у амобы), вследствие чего ресничка изгибается. Если теперь из-за сокращения контакт геля плазмы и ресничной мембраны будет прерван, то сокращение прекратится. Когда гель плазмы восстанавливает прежнюю форму и вновь входит в контакт с цилиарной мембраной, весь цикл повторяется сначала.

Постоянный ток может путем электрофореза сдвинуть гель плазмы и заставить его вступить в контакт с мембраной с противоположной стороны и таким образом реверсировать направление, в котором сокращается ресничка.

Переменный ток с частотой 50 *гц* перемещает гель плазмы туда и назад быстрее, чем успевает сократиться ресничка, и потому прекращает движение ресничек. Таким образом, само сокращение, тормозя дальнейшее сокращение, приводит к установлению ритма, регулируемого обратной связью.

Г. Цикл Кребса и другие биохимические циклы

Многие биохимические реакции текут по замкнутому кругу, например цикл Кребса, орнитиновый цикл и др. В этих циклах каждое полученное вещество является возбудителем процессов, ведущих к его дальнейшим

превращениям. Таким образом, налицо цепь каталитических процессов, напоминающая систему Вольтерра, в которой на место акул и мелкой рыбы поставлены молекулы.

Для каждой системы могут быть написаны одинаковые дифференциальные уравнения и существует возможность устойчивости и цикличности, указанные Вольтерра.

Способность возвращения к норме после возмущения является огромным преимуществом для клетки, борющейся против разнообразных возмущающих воздействий. С другой стороны, латентная сила (период) такой системы может явиться причиной возникновения ритмических процессов в клетках путем соответствующего фазового сдвига.

Можно создать ритмическое повышение и понижение концентрации веществ в пробирке при условии, что в ней происходят две аутокаталитические реакции одна после другой, причем вместо организмов в уравнении Вольтерра стоят молекулы.

Эшби (1952) рассмотрел устойчивость клеток в многоклеточных организмах в свете поведения электронного «гомеостата» и пришел к выводу, что живые организмы обладают свойством «ультраустойчивости». Возможно, что ультраустойчивость обеспечивается каким-либо типом циклических химических реакций вроде цикла Кребса.

Д. Медицинские приложения

Как известно, у млекопитающих есть гомеостатические приспособления для поддержания постоянства внутренней среды. Температура поддерживается на постоянном уровне целым рядом механизмов, включающим потение, глубокое дыхание, дрожание, сокращение кровеносных сосудов поверхности тела и т. д. Постоянный состав крови поддерживается деятельностью печени, почек и других органов. Гомеостазис является правилом, но иногда появляются ритмические колебания, особенно в патологических условиях, когда токсины и другие возмущающие факторы приводят к фазовым сдвигам. Например, обычный грипп вызывает ощущение периодически сменяющих друг друга озноба и жара. При перемежающейся лихорадке наблюдаются периодические по-

вышения и понижения температуры. При маниакально-депрессивном психозе смена состояния депрессии или возбуждения предполагает фазовые сдвиги из-за какого-то замедления в процессах обратной связи, которые в норме держат эмоции на устойчивом уровне.

Рассмотрим подробнее частные примеры.

1. В сфере любовных отношений, в которых эмоциональный уровень есть результат взаимодействия субъектов по механизму обратной связи, возможны два типа состояний: одно — гармоничное спокойное устойчивое состояние благополучия, которое может сохраняться годами, и другое — состояние, в котором наблюдаются переходы от экстаза к отчаянию.

Было бы интересно с помощью «фазового сдвига» добиться перехода одного состояния в другое и наоборот. Этого можно достичь, разделив двух партнеров А и В, увеличив расстояние между ними или создав другие препятствия, так, чтобы время, необходимое для влияния А на В и для обратного влияния удлинилось. Тогда можно найти критическое время «сдвига фаз», которое переведет состояние гомеостаза в состояние ритмического цикла. Возможно, именно так бессознательно поступают девицы, которые добровольно уезжают от бесчувственного партнера, чтобы начались осцилляции экстаз—отчаяние и был превзойден критический эмоциональный уровень, необходимый для брачного предложения.

Эксперименты этого типа, в которых изменяется лишь «сдвиг фаз», предполагают, что коэффициент усиления обратной связи соответствует тем осцилляциям, которые возникнут. При наличии положительной обратной связи возбуждение А приведет к увеличению возбуждения В, которое в свою очередь еще больше увеличит возбуждение А до уровня, ограниченного лишь его эмоциональной реактивностью.

При отрицательной обратной связи увеличение возбуждения А приведет к таким изменениям В, которые вызовут снижение возбуждения А по прошествии времени, необходимого для проявления реакции индивида на данную ситуацию.

Возникнет ли в результате взаимодействия гомеостатический или циклический процесс — зависит от соответствующих заинтересованных параметров.

В настоящем обсуждении допущены упрощения, и все же оно может помочь психологам регулировать по-

добные эмоциональные ситуации, меняя соответствующие параметры.

2. В менструальных циклах месячный ритм считали связанным с фазами луны. Однако, хотя в среднем цикл равен 28 дням, у некоторых он составляет 21 день, у других — 35 дней, а иногда выходит из этих границ, кроме того, периоды могут быть неравными. Поэтому, каково бы ни было первоначальное происхождение этого ритма, в настоящее время у каждого индивида должны быть регуляторы его.

Менструация есть результат взаимодействия большого числа эндокринных желез, но главным образом яичника и гипофиза. Секрцию гипофизарного гормона стимулирует яичник, гормон которого тормозит гипофизарную секрецию. Эти действия гормонов не моментальны. Требуется несколько дней, чтобы проявился их эффект. «Сдвиг фаз» приводит к ритмическому увеличению и уменьшению содержания гормона, на критическом уровне он пускает в ход механизм менструации. Если бы не было сдвига фаз, то уровень содержания гормона был бы постоянным (гомеостатическим).

Возвращаясь к уравнениям Вольтерра, заметим, что секреции гормона яичника соответствуют акулам, а гипофизарного гормона — мелкой рыбе.

Интересно рассмотреть возможные причины различных ритмов в терминах концепции Вольтерра.

Какова разница во внутрисекреторной деятельности при 21- и 28-дневных циклах? Каков будет эффект, скажем, от удвоения уровня секреции яичника и гипофиза?

Ответы на эти вопросы можно дать, исходя из правил Вольтерра.

Согласно правилу 2, средний уровень содержания двух гормонов стремится к постоянной величине, каким бы ни был он первоначально, поэтому большие колебания уровня содержания гормона невозможны. Если же блокировать каким-либо путем влияние гормона яичника на гипофиз, то количество обоих гормонов увеличится (правило 4). Если гормон, который соответствует поедателю виду (гормон яичника), постоянно разрушается, частота ритма возрастает (правило 3). Если постоянно уничтожать гормон, соответствующий поедателю виду (гормон гипофиза), тогда частота ритма падает. Значит, менструальный цикл продолжительностью 35

дней может быть результатом разрушения или повышенного потребления гормона гипофиза, а 21-дневный менструальный цикл — результатом разрушения или повышенного потребления гормонов яичника.

Из правила 5 следует, что одновременное и однообразное разрушение обоих гормонов ведет к увеличению отношения амплитуд флюктуаций гормонов.

Из правила 6 следует, что если оба гормона подвергаются разрушению однообразно и пропорционально их имеющемуся количеству (скажем, путем удаления части железы или инъекции антигормона), то среднее количество гипофизарного гормона возрастет, а среднее количество гормона яичника уменьшится.

Обратное утверждение также справедливо.

Эти выводы могут иметь значение при лечении различных менструальных дисфункций. Нужно отметить, что имеется целая группа гормонов, выделяемых яичником и гипофизом, так что действительное положение вещей несколько сложнее, чем ситуация, рассмотренная выше.

3. «Периодические болезни» — это название ряда болезней, имеющих возвратный или интермиттирующий характер: лихорадка, отек Квинке и др., при которых периодические припадки наступают в течение многих лет у субъектов, вполне здоровых в промежутках между припадками.

Существуют душевные болезни, которые характеризуются ритмическими циклами, фазами угнетения и маниакального возбуждения, чередующимися довольно регулярно с днями или неделями нормального.

Крамер описал случай кататонической формы шизофрении, когда периоды галлюцинаций чередовались с относительно нормальным поведением. Такое чередование происходило шесть раз в год в течение 32 лет.

Известен случай продолжавшегося более десяти лет маниакально-депрессивного психоза с шестидневным циклом. Цикл состоял из двух дней полузаторможенного состояния и четырех дней словоохотливой гиперактивности. В маниакальной фазе пульс учащался на 60%, мочи выделялось в три-четыре раза больше, циклическая потеря и восстановление веса (3—4 кг) проходили также с шестидневными интервалами. Такие ритмы предполагают нарушения механизмов гомеостаза.

Гомеостатические механизмы иногда можно трансформировать в ритмично-циклические с помощью процессов, хорошо известных инженерам.

Если лишить человека зрительных, слуховых и тактильных раздражителей, то это может привести к появлению галлюцинаций и иллюзий с осцилляцией ощущений и нарушением восприятия и распознавания. Возникающие при этом душевные расстройства весьма напоминают явления, наблюдающиеся во сне или при шизофрении, а связанные с ними эмоции настолько неприятны, что большинство испытуемых не могло выдержать изоляции в течение даже одного дня.

Надо считать, что нормальное состояние сознания поддерживается на устойчивом уровне благодаря наличию обратных связей с окружающей средой, и когда эти связи прерываются, то гомеостатический механизм поддержания умственной устойчивости выходит из строя.

Неясно, какова относительная роль нейронных и химических механизмов обратной связи в регулировании душевной устойчивости; кажется весьма вероятным участие обоих механизмов в различных аспектах психической деятельности. Отмечалось, что различные душевные расстройства сопровождаются изменением химизма крови. Было бы очень важно знать, являются ли эти изменения первичными или вторичными.

Джоунз описал ритмические колебания концентрации калия и натрия в крови, колебания настолько большие, что они влияли на сократительную способность мышц и приводили к периодическим параличам. Обычно концентрация электролитов крови поддерживается на постоянном уровне, поэтому появление ритмических колебаний можно рассматривать как нарушение гомеостатического механизма, «сдвиг фаз».

Интересно отметить в этой связи, что гормон, регулирующий равновесие электролитов — альдостерон — также ритмически меняет свою концентрацию в крови при этой болезни.

«Периодическая нейтропения» — болезнь, характеризующаяся ритмическим увеличением и уменьшением количества нейтрофилов в крови.

Количество нейтрофилов в крови может изменяться в широком диапазоне — даже в десять раз. В одном из случаев эти колебания продолжались 34 года (период от

3 до 5 недель). Нам кажется, что это заболевание (в отличие от лейкоза оно протекает доброкачественно) связано с расстройством — по типу «сдвига фаз» — гомеостатического механизма, который в норме удерживает число нейтрофилов на постоянном уровне.

Рейман (1951) в своем обзоре, посвященном периодическим заболеваниям, описал периодическую пурпуру и периодический отек (период до 6 недель), периодическую рвоту, периодическую гипотермию (период 5—7 дней), тромбопению с 27-дневным периодом, периодическое герпетическое высыпание на половом члене 30-летнего мужчины через каждые две недели в течение семи лет, приступы миастении с 2—3-недельными интервалами и другие случаи.

Рейман подчеркивает, что нет удовлетворительной теории, объясняющей эти ритмы, и предполагает, что «какой-то таинственный внутренний ритм приводит к периодическому проявлению латентных заболеваний».

Однако, поскольку известно, что организм осуществляет саморегуляцию с помощью большого числа гомеостатических механизмов, следует ожидать, что при некоторых условиях возможен их переход на ритмическую деятельность. Интересно, что эти ритмы регистрировались на самом деле у большинства таких механизмов и для многих механизмов (формула крови, температура тела) являются общепризнанными.

В организме должно быть очень много гомеостатических механизмов — и внутри клетки, и для регуляции межклеточных взаимоотношений. Ритм внутренне присущ каждому из этих механизмов и может проявиться при наличии надлежащих условий, то есть при «сдвиге фаз» и соответствующем коэффициенте усиления обратной связи.

В инженерном деле конструктор всегда озабочен поддержанием устойчивости и устранением нежелательных ритмов (из-за них рухнул Такоумский мост в США).

Таким же образом можно объяснить дрожание при болезни Паркинсона: оно возникает из-за дегенерации или отсутствия стабилизирующих механизмов обратной связи. Очевидно, появление ритма есть результат «сдвига фаз» и (или) изменения коэффициента усиления обратной связи.

4. Насильственное повторение слов и фраз у заик

объясняется наличием петель обратной связи в мозгу (Винер, 1948). Характерно, что это явление чаще встречается в состоянии нервного возбуждения, когда торможение некоторых нейронных связей приводит к использованию других, более длинных путей. В результате получается «сдвиг фаз», который создает возможность возникновения осцилляций.

Но тогда следует ожидать, что при нарастании возбуждения, когда «сдвиг фаз» увеличивается от 0 до 2π , ритмические колебания должны исчезнуть. Действительно, имеются свидетельства психиатров, что заикание может исчезнуть в минуты крайне высокого возбуждения. Заикание возникает отчасти благодаря слуховой обратной связи. Если громкий звук в наушниках заики заглушает его собственный голос, то заикание исчезает. С другой стороны, у нормально говорящих людей можно вызвать заикание, если с помощью специальных наушников задержать восприятие собственного голоса на несколько десятых долей секунды.

У престарелых людей бывает привычка по несколько раз повторять слова и фразы. Дегенерация части нейронов мозга, которая имеет место на старости лет, приводит к использованию более длинных путей, при этом возникает «сдвиг фаз» и в результате — тенденция к повторению.

Старение и одряхление

В предыдущих разделах ударение было сделано на ритмические процессы, которые вызываются механизмом обратной связи. В настоящем разделе мы займемся одним из аспектов гомеостаза.

Многочисленные исследования процессов старения показали, что старение сопровождается изменением физических свойств и химического состава тканей, органов и клеток, уменьшением количества воды в организме, изменением концентрации различных составных элементов крови, изменением эластических свойств волокон, появлением гранул внутри нервных клеток и т. д.

Автор полагает, что ни одно из этих изменений не может быть причиной старения.

Первичным нужно считать нарушение гомеостатических механизмов, поддерживающих постоянный физический и химический состав клеток и тканей.

Когда восстановительные процессы и гомеостатические механизмы ослабевают и нарушаются — открываётся путь для появления множества вторичных изменений.

Хорошо известно, что раны у стариков заживают дольше, чем у молодых, выздоровление после травм и болезней также тянется очень долго, а иногда и вовсе не наступает, старики часто даже в очень солнечные летние дни надевают теплую одежду. Эти факты свидетельствуют об общем ослаблении гомеостатических механизмов тела — потеря куда более серьезная, чем любые другие изменения, которым, при наличии гомеостатических механизмов, организм может противодействовать.

После того как выяснилось, что сперматозоиды можно защитить от рокового воздействия охлаждения (для этого в семенную жидкость добавляют глицерин, предотвращающий образование кристаллов льда), очень много живых клеток удалось сохранить при низкой температуре на протяжении периодов времени, превышающих их нормальную продолжительность жизни.

Однако живые клетки не обязательно выживают в течение длительных периодов времени при понижении температуры до уровня, резко снижающего метаболизм. Так, красные кровяные клетки плохо выживают при -20°C и не полностью при -78°C . Живая клетка есть динамическая система, не находящаяся в абсолютном равновесии с окружающей средой, и потому ее внутренняя организация поддерживается каким-то активным процессом. При охлаждении эти процессы ослабевают, но возмущающие процессы — диффузия и др. — нарушаются сравнительно меньше. Поэтому снижение процессов метаболизма с течением времени все же приведет к необратимой дезорганизации клетки, если диффузия не будет полностью прекращена путем охлаждения до стекловидного состояния.

Одряхление неизбежно также вследствие деградации информации, хранящейся в клетке, или разрушения информации вследствие внешних возмущающих воздействий.

Точно так же, как сообщение можно «омолодить», послав идентичные сообщения по соответствующему каналу и скомбинировав их, то есть увеличив избыточность, ибо вероятность потери одинаковых участков сообщений

в обоих каналах очень мала, — так и клетка может быть омоложена в результате естественного процесса конъюгации (спаривания). Конъюгация, или половое размножение, практически является универсальной в животном и растительном царстве, случайное повреждение генетического материала благодаря процессу спаривания не сказывается отрицательно на потомстве.

Интересно исследовать живые системы, в которых нет полового размножения, чтобы узнать, каким образом осуществляется противодействие деградации генетического материала, а если такого противодействия нет — то в чем эта деградация проявляется.

Большинство амёб обладает сексуальными фазами, но у *Amoeba proteus* их нет, она размножается путем двойного деления и митоза. *Amoeba proteus* противодействует деградации информации, будучи в высшей степени полиплоидной, имея много сотен маленьких хромосом — вместо нескольких десятков, которыми обладают другие организмы. Эта избыточность информации проявляется в необыкновенно высокой устойчивости амёбы к действию рентгеновских лучей. Для того чтобы убить амёбу, требуется доза рентгеновского излучения в 1000 раз большая, чем для умертвления кролика, имеющего нормальное диплоидное число хромосом.

Как и амёба, соматические клетки и клетки опухолей размножаются путем митоза, без спаривания. Поэтому интересно проследить, какие изменения происходят после нескольких лет роста клеток в тканевых культурах или после многократных пассажей на животных. Подобные опыты проводятся на протяжении последних десятилетий — время не очень значительное по сравнению с продолжительностью жизни животных, у которых были взяты клетки. Однако уже есть сообщения о заметных изменениях в клетках. Например:

а) опухоль Уокера выделена в 1928 г. и с тех пор постоянно пассируется на множестве крыс, постепенно она изменила свойства карциномы на свойства саркомы;

б) установлено, что опухоли, зависящие от гормонов, со временем становятся менее зависимыми или вовсе независимыми от поступления гормона и малигнизируются (фактор, ограничивающий эффективность гормонотерапии); это наблюдается также при пассировании на животных.

Хорнинг описал опухоль почки хомяка, вызванную введением стильбэстрола; вначале эта опухоль зависела от введения гормона, но после серии пассажей стала независимой от него;

в) Эрл и его коллеги нашли, что нормальные клетки в тканевой культуре через много лет иногда приобретали свойства злокачественных. Примечательно, что злокачественные опухоли бывают преимущественно у индивидов преклонного возраста и что клетки опухолей имеют антигенный (а возможно и генетический) дефицит по сравнению с нормальными клетками, из которых они возникли. Это свидетельствует о потере информации;

г) нормальные клетки различных тканей при выращивании в культурах в течение месяцев и лет могут менять свои морфологические, физиологические и химические свойства. Например, клетка может изменить свой ответ на вирусную инфекцию или на фармакологический агент и т. д. Это происходит, как показали опыты с изолированными клетками, не вследствие процессов селекции. Необратимость процесса объясняется потерей части внутренней информации клетки, которая не может уже восстановиться.

Нетрудно увидеть, что такие изменения неизбежны в соматических клетках, в которых не происходит «омоложения» путем конъюгации. Организм функционирует, имея все меньше и меньше эффективных клеток, и, наконец, наступает время, когда восстановительная сила и гомеостатические механизмы организма уже не смогут противодействовать повреждениям и стрессам умеренной силы. Это приводит к угасанию и смерти.

Согласно имеющимся данным, силы, стремящиеся восстановить разрушенную информацию, в клетке довольно слабы, природа больше рассчитывает на избыточность, чем на обеспечение гомеостатических механизмов для сохранения генов. Однако есть сведения, что парамеция обладает восстановительным механизмом для генов. Если облучить парамецию рентгеновскими лучами, а затем задержать ее размножение, ограничив питание, то повреждение генов устраняется. Если же произойдет деление клетки, то повреждение проявится в последующих поколениях.

Акт клеточного деления «фиксирует» повреждение. Очень соблазнительно применить подобное объяснение к тому факту, что зачастую животные, которых содержат впроголодь (это замедляет темп клеточного деления и задерживает их созревание), живут значительно дольше, чем контрольные животные на полноценном питании.

Другим доказательством факта корреляции между продолжительностью жизни и темпом клеточного деления служит то обстоятельство, что у млекопитающих продолжительность жизни тем большая, чем позже наступает половая зрелость.

Поскольку тема настоящей статьи — регулирование гомеостазиса и ритма, то мы должны рассмотреть еще и такие вопросы:

а) можно ли восстановить ослабевший гомеостатический механизм стареющего животного;

б) может ли этот ослабевший механизм вызвать ритмические процессы?

Казалось бы, очень мало можно сделать для усиления гомеостатического механизма внутри клетки, если нарушение ее жизнедеятельности связано с генетической травмой или разрушением саморегулирующей информации.

Информация и энтропия в какой-то мере подобны. Информация есть отрицательная энтропия, негэнтропия. Энтропия имеет тенденцию к возрастанию, информация — к убыванию. Сравнивая животных с различной продолжительностью жизни, можно найти ключ к имеющим здесь место явлениям: животные, которые медленно созревают, живут дольше других. У них, очевидно, замедляется темп клеточного деления. Это согласуется с фактом увеличения продолжительности жизни при голодании и после облучения их X-лучами, которые приводят к удлинению интермитотического интервала. Иначе говоря, если клеточное деление фиксирует потерю генетической информации, которая имеет место в межмитозные промежутки, то для долголетия организма необходимо замедлить темп клеточного деления или восстановить информацию путем увеличения избыточности, вводя свежие гены в процессе спаривания или увеличивая размеры животного, чтобы в каждом его органе было много клеток.

Яйцеклетка обладает избыточной информацией, кото-

рая необходима из-за неизбежной потери информации в процессе развития зародыша. Поэтому в соответствующих условиях можно получить целый организм из отдельных клеток, взятых на стадии 2-, 4- или даже 8-клеточного зародыша, но отнюдь не на стадии 16- или 32-клеточного (в этом случае получаются дефектные эмбрионы). Очевидно, имеет место восьмикратная избыточность информации, необходимая для развития зародыша.

Пользуясь другим методом, Л. Сциллард чисто теоретическим путем нашел, что одряхление наступает, когда число нормально функционирующих клеток уменьшается до $\frac{1}{6}$ их первоначального количества (в результате повреждения от излучения и др.).

Таким образом, величины избыточности, полученные двумя разными методами, вполне сравнимы.

Что же касается ритмических процессов, то они могут возникнуть в гомеостатической системе при наличии «сдвига фаз» и адекватного коэффициента усиления обратной связи. С возрастом коэффициент усиления обратной связи вероятнее всего уменьшается.

У стариков могут появиться различные ритмические процессы, например склонность к повторениям, тремор и т. д. Это происходит, вероятно, вследствие использования длинных нервных путей (из-за дегенеративных процессов), что приводит к «сдвигу фаз».

Обсуждение

Выше было приведено несколько примеров возникновения ритмических процессов на клеточном и супраклеточном уровнях. Происходят эти процессы благодаря наличию обратных связей. В некоторых случаях ритмический процесс является нормой, в других он — проявление патологии, а нормой является гомеостазис.

Возникает вопрос — имеется ли общий метод перехода от одного состояния (гомеостазис) к другому (ритмическая цикличность) и обратно. Если бы такой метод существовал, он бы оказался очень полезным для лечения упомянутых выше «периодических болезней», которые кажутся таинственными и — как показывает их хроническая природа — не поддаются лечению.

Во многих случаях бывает возможно уподобить изу-

чаемую систему ситуациям Вольтерра. Иногда имеются два флюктуирующих количества со сдвигом фаз (гипофизарный и яичниковый гормон при менструациях). Иногда проявляется только один ритм, а другой скрыт разностью фаз, но при изменении этой разности также может проявиться. Например, при перемежающейся лихорадке бросаются в глаза ритмические изменения температуры, но они сопровождаются с небольшим отставанием во времени какими-то изменениями в механизмах теплопродукции или теплоотдачи и т. д.

В общем случае имеется два количества A и B , которые, взаимодействуя, приводят к изменению от минимума до максимума в каждом из этих количеств, но в разные моменты времени.

Система $A - B$ может быть уподоблена системе Вольтерра хищник — жертва или системе ядро — цитоплазма, или веществам, вызывающим возбуждение и депрессию в случае маниакально-депрессивного психоза, или веществам, вызывающим увеличение и уменьшение числа нейтрофилов в крови при периодической нейтропении.

Ритм может быть представлен замкнутой петлей и направлением стрелки (схема 1).

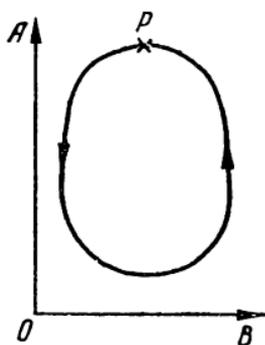


Схема 1.

Схема 1 показывает ритм при взаимодействии двух количеств A и B (сдвиг фаз и коэффициент усиления соответствуют ситуации Вольтерра).

Некоторые результаты взаимодействия в такой системе могут быть предсказаны при помощи правил Вольтерра, приведенных выше. Это указывает пути изменения частоты амплитуды осцилляций.

Желательно идентифицировать A и B с «поедающими» и «поедаемыми» видами в ситуации Вольтерра.

Это, однако, не является абсолютно необходимым, так как имеется всего две возможности, которые легко распознать после первой же попытки вмешательства в деятельность системы и производить вполне предсказуемые модификации системы, не вдаваясь заранее в анализ ее деталей.

Вольтерра (1926) показал, что его система обладает устойчивостью. Если в точке P на схеме B уменьшается и мы введем еще B в систему, то осцилляция не приостановится, просто центр тяжести осцилляции будет смещен (схема 2), но вернется на прежнее место спустя несколько циклов.

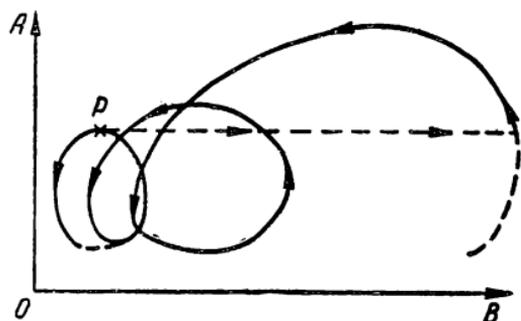


Схема 2.

Схема 2 показывает эффект воздействия B на систему в точке P ; центр тяжести цикла смещен, но после ряда циклов возвращается в первоначальную точку.

Симптоматическое лечение не может воздействовать на ритм. Бесполезно лечить маниакально-депрессивный психоз, назначая успокаивающие средства в маниакальной фазе или возбуждающие — в фазе депрессии (это хорошо известно), подобно этому введение нейтрофилов в кровь в период нейтропении может дать лишь преходящий эффект.

Чтобы остановить ритмический процесс и установить гомеостазис, необходимо воздействовать на фазовый сдвиг. Здесь опять большой простор для изобретательности исследователя.

Если возникнет «временная задержка» какого-нибудь ответа гомеостатической системы в результате травмы или интоксикации, то система начнет работать не гомеостатически, а циклически. Проблема заключается в том, чтобы отыскать и устранить повреждение. При этом нужно учитывать и общие кибернетические принципы, и конкретную физиологию данной системы.

В отличие от болезней, протекающих в определенном ритме, есть заболевания, которые поддерживаются гомеостатическими механизмами, по типу «порочного круга», с петлями обратной связи. Например, сильную боль, которую испытывает большое число цивилизованных женщин во время родов, иногда рассматривают как результат замкнутого кольца обратной связи: страх — напряжение — боль — страх.

Полагают, что можно устранить боль, если разорвать петлю в одном из звеньев (страх) путем подготовки и внушения. Точно так же у индивидов, подавляющих свои агрессивные чувства, эти чувства обращаются внутрь самого индивида (объективным проявлением этого является битье себя в грудь, вырывание волос и т. д.), вызывая благодаря травматизации еще более агрессивное чувство (то есть тенденцию отреагировать на ситуацию), которое продлевается с помощью петли обратной связи. При этом совсем не обязательно присутствие первоначального объекта, спровоцировавшего агрессию.

Напряжение, вызванное таким путем, может длиться годы, пока не наступит разрядка— какие-нибудь насильственные действия.

Имеются сообщения, что хронические боли, которые трудно было связать с каким-либо повреждением и которые поддерживались циркуляцией импульсов по нервным путям, оказалось возможным излечить с помощью однократной местной анестезии соответствующего участка, которая разорвала порочный круг. Но эта работа нуждается в подтверждении.

Мы не упомянули о ритмах, регулируемых относительной продолжительностью дня и ночи (фотопериодичность), а также о периодах кормления и размножения у животных, связанных с определенным временем суток, месяца, года.

Очевидно существует внутренняя тенденция к соблюдению ритма, которая может в некоторых случаях приспособливаться по фазе к какому-либо внешнему ритму.

Если организм защищен от воздействия внешнего ритма, то его собственные ритмические процессы продолжают, но без точной синхронизации по фазе с внешним ритмом.

Очень может быть, что вызванные механизмами обратной связи ритмические процессы лежат в основе чувства времени и вообще «биологических часов».

ГЛИО-НЕВРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОЗГА

Р. Галамбос

Настанет день, кто-нибудь найдет ключ, и тогда мы поймем, что видели работу неизвестного нам механизма в каждом из наших опытов на мозге, но мы не понимали, что мы видим.

Б. Д. Бернс.

Теорий функционирования мозга очень много, начиная от представления Аристотеля, что мозг охлаждает кровь, и кончая нынешними представлениями, что мозг организует поведение. Каким образом он это делает — тоже объясняют многие теории, начиная от Декарта, который полагал, что шишковидная железа, передвигаясь, дает возможность жидкости затекать в мозговые желудочки, и кончая современными теориями, где главная роль приписывается нервным клеткам — нейронам. Нейронная теория за последние 75 лет дала очень много ценных сведений о функционировании мозга.

В настоящей статье предлагается новый взгляд на работу мозга как на взаимодействие глии и нейронов. Этот взгляд может послужить весьма полезной схемой для постановки экспериментов. Сравнительная анатомия убедительно показывает, что любой мозг — у позвоночных и беспозвоночных — содержит два типа клеток — нейроны и не-нейроны. Последние мы будем называть глиальными клетками, рискуя навлечь на себя гнев анатомов, которые не все эти клетки включают в глию, не будем придавать значения и тому факту, что существует несколько разновидностей глии.

Мозг человека содержит множество систем глиальных клеток, и их количество, вероятно, в десять раз превосходит число нервных элементов.

Поля, занятые этими вездесущими клетками, на электронно-микроскопической картине значительно превосходят по размерам поля, занятые собственно нервными элементами.

На цитоплазму глиальных клеток приходится большая часть всего объема мозга; этот факт не был в достаточной мере оценен в эпоху оптических микроскопов с применением фиксаторов, сморщивающих клетки.

Неискушенный наблюдатель, создавая для себя представление о мозге по его электронно-микроскопической картине, вероятно описал бы мозг как большое скопление глиальных клеток, в которых время от времени попадают нервные элементы. Те же, кто прошел курс обучения, видят совсем другое — удивительно запутанное, сложное сочетание нервных клеток, которое поддерживается сравнительно не столь важными не-нервными элементами.

Точка зрения, которую автор защищает в настоящей статье, представляет собой середину между двумя крайними воззрениями; читатель должен понять, что глиальные клетки играют большую и важную роль в механизмах врожденного и приобретенного поведения.

Перейдем к фактам, на которые, естественно, должна опираться любая теория.

Биологи, психологи и врачи знают о многих сторонах поведения человека, которые невозможно объяснить только на основе нейронной теории. Разберем в качестве примера один из этих аспектов — гибернацию в животном организме.

Летучая мышь, хомяк, земляная белка и другие млекопитающие периодически забираются в укромное место, температура их тела снижается, они впадают в глубокую спячку (гибернацию). И в лабораторных условиях температуру тела можно снизить почти до 0°C , при этом неврональная активность мозга также приближается к нулю, и все-таки целый ряд сложных приспособительных реакций продолжает осуществляться. Когда животное пробуждается, оно ведет себя так, как будто с его нервной системой ничего не случилось, быстро проявляет весь репертуар своих сложных поведенческих реакций, многие из которых — приобретенные.

Даже почти полное прекращение нервной деятельности не может разрушить самое ценное, чем обладает ор-

ганизм — знание того, как выжить и воспроизвести себе подобных. Этот факт очень трудно объяснить, так как нейрофизиологи не могут, исходя из уже известных свойств нейронов, логически построить концепцию такого сохранения воспоминаний. Они собрали внушительное количество фактов, относящихся к нервному возбуждению, проведению синаптической передачи, но ни один из этих фактов не имеет прямого и убедительного отношения к такому простому событию, как опознание знакомого лица. Более того, огромный репертуар поведенческих реакций, с которым рождается младенец — дыхание, глотание, плач, сон — полностью ускользают от нейрофизиолога. Современные теоретики-нейрофизиологи убеждены, что лишь нейроны регулируют реакции организма. Но деятельность нейронов протекает в масштабах времени, измеряемых миллисекундами или самое большее — секундами, а модели поведения, передаваемые из поколения в поколение или приобретенные и сохраненные на всю жизнь, требуют очень устойчивой, надежной системы хранения, действующей в ином масштабе времени — месяцев, лет, поколений. Миллисекундная нейрофизиология, как бы ни защищали ее приверженцы, не может удовлетворительно объяснить такой механизм хранения.

Любопытно, что глиальным клеткам, которые вполне могут служить системой длительного хранения, никогда не пытались приписать эту роль. Если же кто-нибудь и обратил внимание на высказывание Нансена (1886 г.) о том, что неvroглия «есть носитель разума, потому что размеры ее возрастают от низших животных к высшим», то оно все равно не оказало влияния на главные направления исследования мозга как на Западе, так и на Востоке.

Для обоснования будущих экспериментов изложим мысль Нансена в современных терминах. Глиальные клетки каким-то образом организуют деятельность нейронов. Они создают базис для «полей», «скоплений» и других концепций, которые вынуждены были постулировать биологи. Электронное микрофотографирование показывает, что глиальные элементы облекают, окружают нейрон, тесно прилегают к его телу, к аксонам, дендритам — до самых тонких окончаний нейропиля (Херрик) — и, вероятно, могут быть причиной того, что нейроны оказываются в состоянии передавать связанные сообщения.

Глия может воспринять афферентные импульсы, как-то их организовать до того, как возникнут эфферентные потоки импульсов, и каким-то путем — который еще предстоит открыть — воздействовать на них так, чтобы внести порядок в деятельность нейронов. Мозг без глии был бы гигантской вычислительной машиной, действующей наугад из-за отсутствия программы.

Эту концепцию не следует смешивать с не совсем ясными идеями, высказанными Кахалом и др., которые рассматривали глию как вид изолятора, особенно в области синапсов. Кроме того, я отнюдь не считаю, что роль глии — механически поддерживать и обеспечивать питание и метаболизм нейронов, как полагают многие.

Возможно, глия исполняет все эти функции, но сверх того она как-то «говорит» массам нейронов, что именно им надлежит делать — таким же образом, как программа вычислительной машины «говорит» ячейкам этой машины, каковы должны быть порядок и последовательность их действий.

Но как же, спросят, глия может быть такой мудрой?

Ответ, подкрепленный экспериментом, дать нелегко, но также нелегко ответить, каким образом недифференцированная клетка развивается в эмбриональном периоде в клетку печени или половую клетку. Генные механизмы, находящиеся в клетках глии, могут заставить эти клетки организовать мои нейроны таким образом, что я оказываюсь способным дышать и запоминать, подобно тому, как генные механизмы поддерживают год от года неизменный цвет волос. Это утверждение, насколько мне известно, нельзя ни подтвердить, ни отвергнуть ссылкой на какие-либо уже проведенные эксперименты.

Когда у эмбриона развиваются первые нейроны, возникают и первые клетки глии, и можно полагать, что их взаимодействие и разделение труда между ними начинаются уже тогда.

Замечательные открытия Вейса и Сперри в области восстановления функций органов чувств и двигательного аппарата имеют прямое отношение к разбираемому вопросу. Факты очень просты: хирургическим вмешательством на амфибиях и рыбах можно перепутать обычные нервные связи в спинном и головном мозге, но при этом не удастся нарушить функции.

В течение многих лет ни я, ни кто-либо другой не

могли понять, каким образом глаз, пересаженный на противоположную сторону, после регенерации нерва функционирует так, словно он не был подвергнут пересадке.

Но предположим, что глия сетчатки или зрительной покрывки «знает», где должны находиться и как должны функционировать ее нейроны.

Тогда станет ясным, что глия не только физически поддерживает, но и физиологически регулирует деятельность нейронов глаза от начала до конца жизни животного, а хирургическое вмешательство экспериментатора предоставит глии еще одну возможность действовать в соответствии с программой ее генных механизмов.

Когда исследователи сообщают об экспериментах, доказывающих, что шванновские клетки (глиальные) иннервируют мышцу лягушки, то есть дают очевидное доказательство образования между ними функциональной связи вскоре после перерезки периферического нерва, я в этом вижу ключ к пониманию того, каким образом глия выполняет свои функции. И когда другие исследователи заключают из своих опытов с микроэлектродной техникой, что глаз лягушки «разговаривает» с мозгом на языке уже хорошо организованном и интерпретированном, а не передает простую копию распределения света на рецепторе, это тоже понятно, потому что в соответствии с нашей концепцией глия как-то организует протекающую во времени деятельность нейронов (как пастух собирает стадо).

Опыты показывают, что регенерирующие зрительные нервы точно знают, в каком направлении расти и что делать в мозгу, а исследователи настаивают, что существует генетически детерминированное представление внешнего мира в области покрывки мозга.

Если предположить, что вся эта таинственная упорядоченность сводится к выявлению генных свойств глиальных клеток, то во всем этом процессе будет столько же гармонии и красоты, сколько их в предположении, что нейроны делают все это самостоятельно.

Имеется множество других хорошо известных данных, которые следует рассмотреть в рамках новой концепции.

Многие из тех, кто занимался регистрацией мозговых волн, знают, как трудно получить медленные волны не-

посредственно из простых изменений мембранных потенциалов. В 1951 г. мы с коллегами были весьма озадачены, когда при изучении микроэлектронных записей увидели, что вызванные (реактивные) медленные волны не могут быть простой суммацией электрической активности клеток-нейронов. Мы тогда не знали того, что теперь стало ясным благодаря электронному микроскопу,— что кончик электрода должен находиться либо внутри нейрона, либо внутри глиальной клетки, и что не может быть никакой «внеклеточной» регистрации в спинном и головном мозге.

Допустим, что глиальные клетки генерируют медленные волны, а нейроны — пики. Вряд ли такое обобщение до конца справедливо, но поскольку мы его сделали, то теперь можно планировать эксперименты для его проверки.

Одно из последних направлений в исследовании мозга связано с изучением электронной регистрации мозговых волн в процессе обучения. Выдающийся результат — открытие в ретикулярной формации межучочного мозга ритмической активности, которая сохраняет временные характеристики раздражителя. Например, если обучить кошку тому, что мигающий свет с частотой семь вспышек в секунду означает «отстранись — или получишь удар», то даже в темноте можно обнаружить у кошки мозговые волны такой же частоты. В каких структурах мозга образуются эти волны?

Традиционная нейрофизиология утверждает, что причина этих волн — разность потенциалов на многих нейронных мембранах, но нет оснований пренебрегать другой теорией, утверждающей, что эти волны образуются глио-невральным комплексом.

Теперь рассмотрим корковые мозговые волны, с которыми связано имя Бергера. По частотному спектру, амплитуде и изменчивости они напоминают волны, которые записываются с серого и белого вещества в любой части мозга, включая и те новые волны, которые регистрируются в межучочном мозге в процессе обучения.

Имеется множество нейронных теорий, объясняющих волновую активность мозга. Некоторые из них опираются на частичную поляризацию в расположенных вертикально окончаниях дендритов. Единственное прямое доказательство того, что глия может участвовать в форми-

ровании волн, дают Тасаки и Чанг. Они показали, что астроциты обладают электроволновой активностью, однако мысль о том, что глия участвует в этом процессе, не получила развития. Действительно ли это такая неразумная мысль?

Во всех областях мозга, с которых проводится регистрация волн, нейроны сильно варьируют в размерах, распределении, количестве и ориентации.

Как же может возникнуть одинаковый электрический спектр и амплитуда от аксонов белого вещества и от нервных клеток, значительно отличающихся друг от друга количеством синаптических бляшек, расположением дендритов и даже таким свойством, как полная и неполная деполяризация? Возможно, что электрическая активность таких областей зависит не от нейронов, а от других клеток, которые там имеются, то есть от глии.

Существует явление, именуемое разлитой корковой депрессией (торможением), с которым нейрофизиология «сражается» много лет. При этой корковой депрессии животное, помимо всего прочего, не может воспроизводить приобретенные реакции, ЭЭГ исчезает, исчезает также и разность потенциалов, нормально существующая между желудочками и поверхностью мозга.

Нейронная теория не могла предложить никакого разумительного объяснения этих фактов.

Если же мы допустим, что глия создает постоянные потенциалы, а также обладает электрической активностью, сигнализирующей о процессах организации нейронов, то разлитая депрессия — с ее кортикальными электрическими нарушениями — может получить разумное объяснение в рамках вполне реалистической теории.

Те, кто занимается регистрацией электрических волн мозга человека во сне, при опухолях мозга, эпилепсии, убедились в том, что эта теория поможет по-новому осветить целый ряд стоящих перед ними проблем и провести ценные экспериментальные исследования.

Теперь позвольте привести два эксперимента, настолько новых, что результаты их нигде еще не были опубликованы. Это был тот последний пук соломы, который сломал спину верблюда и заставил меня написать статью.

О первом опыте доложил д-р Морелл 20.X — 1960 г. Микроэлектроды вживлялись в зрительную кору кроли-

ка; был изолирован участок, отвечавший одним разрядом импульсов на одиночную вспышку света. Затем через мозг пропускали слабый ток и в то же время глаз раздражали вспышками света (частота — пять вспышек в секунду). Спустя несколько минут (ток через мозг все еще пропускали) был возобновлен тест на одиночную вспышку света. Ответом был не одиночный разряд импульса, а целая серия их — пять в секунду. С течением времени эта тенденция ответа на единичную вспышку серией импульсов ослабела, и через полчаса единичная вспышка вызывала один разряд.

Морелл очень изящно продемонстрировал то, о чем уже раньше говорилось, а именно: слабый постоянный ток при соответствующих условиях обратимо модифицирует нейронную активность на значительное время.

Трудно сказать, как объяснить это явление — а оно связано с проблемой обучения, — исходя только из изменений в нейронных мембранах. Легче представить временное изменение свойств глиальных клеток, расположенных вблизи электродов. Впрочем, обе точки зрения являются лишь догадками, и экспериментатор должен принять одну из них для дальнейшего исследования описанного явления.

Тогда же, 20.X — 1960 г. доктор Светичин сообщил о другом опыте — о тщательно изученных электрических реакциях сетчатки рыбы. Он привел убедительные доказательства того, что один из трех типов электрических ответов на освещение глаза появляется только в случае, когда микроэлектрод находится внутри большой горизонтальной клетки, являющейся глиальной клеткой сетчатки. Другой тип появляется, когда электрод проникает в волокно Мюллера, которое еще Кахал признал глиальной клеткой. Оба эти типа электрической активности — длительные изменения потенциала, а не пики. Типичные пики могут быть записаны с ганглиозных клеток сетчатки.

Поучительно рассмотреть, каким образом глия может быть вовлечена в исследование электрошоковых и других раздражений мозга. Ограничимся так называемыми опытами с самостимуляцией, которые доказывают, что животные готовы преодолеть целый ряд препятствий, чтобы добиться получения электростимуляции мозга. Обезьяна нажимала на выключатель электростимулято-

ра через каждые несколько секунд в течение нескольких дней, делая небольшие паузы только для еды и сна; единственный результат этих нажатий на выключатель — получение электрических раздражений через электроды в глубине мозга. Факт этот бросает вызов любой нейрофизиологической теории!

Детальное изучение показывает, что ни параметры тока (частота, продолжительность, форма волны), ни точная локализация электрода в мозге (пределы довольно широки) не являются решающими факторами. Интенсивность электрораздражений является важным фактором и находится в линейной связи (в известных пределах) с силой ответа (неопубликованные еще работы Валенштейна). Господствующая точка зрения на то, как эти электрические раздражения приводят к формированию в мозге событий, определяющих сложное принудительное и точное поведение, опирается на факты деполяризации нейронных мембран в межучастном мозге; в новейших работах именно так объясняют эмоции, мотивацию и т. д. Говоря короче, эти раздражения возбуждают нервные клетки и волокна.

Требуется много дополнительных надуманных допущений, чтобы объяснить такие факты, как распространение тока, большой диапазон колебаний его параметров, взаимодействие нейронов в области синапсов и т. д.

Давайте предположим, что субстратом, на который оказывают первоначальное воздействие электрические удары, является глия, слои глиальных клеток, окружающие нейроны и волокна в цепи межучастный мозг — лимбус. В этом случае электрические удары активируют глию (которая, конечно, не будет такой привередливой, как нейроны, в отношении параметров электрических ударов), а глия, в свою очередь, избирательно и направленно активирует невральные компоненты.

Итог этих объединенных усилий есть нормальное поведение, потому что электрические удары пускают в ход те же процессы в глие, которые происходят и в нормальных условиях. Эта логическая конструкция, основанная на фактах, представляется не более надуманной и неразумной в качестве рабочей гипотезы, чем другие объяснения, основанные только на нейронной теории.

Интересно, что сказал бы Лэшли о предположении,

что его «энграммы» сводятся к генетически обусловленным свойствам глиальных клеток?

Лэшли до самой смерти был убежден, что не существует прямой связи между локализацией и протяженностью мозговых повреждений, с одной стороны, и объемом и характером нарушений поведения — с другой, но не мог объяснить этого. Поверхностные разрезы, которые могут полностью нарушить внутрикоровую организацию нейронов, поразительно мало влияют на поведение. Согласился ли бы Лэшли с нашим объяснением: корковую глию не так легко разрушить ножом, и она легко восстанавливается после такого повреждения, начинает реаранжировку нейронов и добивается наилучших результатов с помощью уцелевших после деструкции нейронов и их связей? Можно полагать, что Клювер склоняется именно к такой точке зрения, потому что в своей рецензии на последнее сообщение Лэшли он пишет: «Интересно вспомнить, что знаменитый врач Шлейх около 30 лет назад написал книгу, в которой пытался свести всю физиологическую деятельность к нейроглиальной и в которой сводил мышление, запоминание, забывание, воображение и т. д. к напряжению или расслаблению нейроглиальных процессов. Вы можете сами решить, является ли глиальный «распределительный щит» Шлейха такой уж фантастической идеей после того как познакомитесь с тканевыми культурами Померата, в которых содержатся клетки с ритмической пульсирующей активностью, клетки, которые относятся к олигодендроглии.

Может ли психоневрология, которая сейчас является главным образом психоневрологией, игнорировать возможности психоглиологии, тем более, что человек — по Фрейду — может быть определен как животное с самым высоким глиальным индексом?».

В заключение нужно развить еще одну мысль.

Десмедт и Ла-Грутта сообщают об опытах, показывающих, что ингибиторы псевдохолинэстеразы — энзима, находящегося в глии, — оказывают глубокое влияние на поведение, мозговые волны и амплитуду реактивных потенциалов кошки. Это, вероятно, первая работа, ясно показывающая участие глии в функционировании мозга, и авторы это понимают, хотя они и не выразили прямо той мысли, которая является стержнем нашей статьи. Если эта мысль в принципе верна, то глия должна ока-

заться высокочувствительной к большому ряду химических веществ; несомненно, глия и сама вырабатывает разные химические вещества.

Интересно, в какой мере от глии, а не от нейронов, зависит реакция на избыток водородных ионов в дыхательном центре продолговатого мозга, который выводится из строя барбитуратами; угнетение спинальных рефлексов при алкогольной интоксикации; быстрый ответ на высокую концентрацию полового гормона. Эти химические вещества не оказывают равномерного влияния на все области мозга, а так как имеется много фармакологически активных веществ, то можно постулировать наличие разновидностей глии, отличающихся своей биохимической специфичностью. Карта мозга, на которую будут нанесены эти скопления глии, отличающиеся биохимической специфичностью, будет весьма интригующим зрелищем и позволит по-новому взглянуть на мозговые структуры и по-новому их классифицировать.

Такая глиальная анатомия представит мозг в форме шаров, полос, стержней и сложных трехмерных поверхностей, сложенных в один объем, который и является мозгом.

В какой мере эти структуры глиальной анатомии совпадут с образованиями, описываемыми традиционной нейроанатомией,— это очень интересный вопрос. Можно думать, что совпадение будет точным; в противном случае студенты-медики взбунтуются, ибо кроме одного класса клеток мозга — нейронов им придется изучать еще и анатомию глиальных элементов.

Кратко подытожим сказанное. В статье излагается взгляд на мозг, согласно которому клеточные компоненты — нейроны и глия — естественно взаимодействуют, формируя поведение.

Глия рассматривается как ткань, генетически обусловленная функция которой — программировать деятельность нейронов, чтобы обеспечивать насущные интересы организма. Существенная часть деятельности глии — формирование того, что мы называем врожденными или приобретенными реакциями. По нашей схеме нейроны просто исполняют те инструкции, которые дает глия.

Этот вывод вытекает из целого ряда старых и новых данных физиологии, анатомии и наук, изучающих поведение.

Новый мощный анатомический инструмент — электронный микроскоп — показывает, что глия составляет огромную часть общего объема мозговой ткани, а поскольку точно неизвестно, что делает эта глиальная масса, то можно приписывать ей чисто теоретически либо чрезвычайно пассивную роль, как это делалось по традиции, либо в высшей степени активную, как предлагается в нашей статье.

Нейрофизиология, в которой господствует нейронная теория Кахала, накопила за 50 лет горы сведений и фактов, но не в состоянии сформулировать убедительное объяснение даже такого простого события, как запоминание имени.

Накопленные данные настойчиво говорят о том, что кроме нейрональных существуют и другие действующие механизмы. Может быть, этими «другими действующими механизмами», способными объединить разрозненные факты, примирить очевидные противоречия и положить конец нашим блужданиям в темноте, являются физиологические свойства глии.

МЕХАНИЗМЫ ИСКУССТВЕННОГО И ЕСТЕСТВЕННОГО МОЗГА

Р. Купер

В течение веков мозг рассматривали как регулирующий центр поведения человека или животных, и только в последние десятилетия были получены экспериментальные данные, которые позволяют предполагать, каков способ функционирования мозга. Существует много теорий, объясняющих функционирование мозга. Они включают в себя даже теорию гидравлической системы, но новейшие теории основываются на электрохимических концепциях, признают лишь электрическую, химическую и физическую формы хранения информации. Из всех аспектов поведения животного и человека одним из самых фундаментальных является процесс обучения, о котором так много написано и так мало известно, процесс, в котором события в пространстве и времени определяют будущее поведение. Именно досадная скудость наших знаний побудила одного известного физиолога сказать: «Это пятно на нашей научной изобретательности, что после стольких лет поисков мы так мало знаем о физиологических процессах, на которых основывается обучение».

Простое наблюдение дает возможность предсказать поведение очень молодых или очень старых индивидов, но для остальных это сделать значительно труднее из-за невозможности для наблюдателя «взвесить» все факторы так, как это делает наблюдаемый. Это «взвешивание» зависит от памяти и опыта как действительного, так и воображаемого, оно-то и является основным фактором принятия решения, конечного результата мыслительного про-

цесса. Нет сомнений, что определение значимости входных сигналов в свете прошлого опыта — одна из задач мозга и, в частности, мозговой коры.

Структура мозговой ткани

Осмотр мозга, рассеченного на несколько частей, позволяет определить два типа мозговой ткани — серое и белое вещество. Серое вещество — мозговая кора, которая образует цельное, непрерывное, состоящее из извилин покрывало (плащ) на поверхности головного мозга. При микроскопическом исследовании мозговой ткани кора оказывается переплетением нейронов и волокон, а белое вещество состоит только из волокон. Электронное микроскопирование показывает, что нейроны и волокна разделены большой системой глиальных клеток, которых в десять раз больше, чем нейронов.

Но эти методы дают представление лишь о физическом положении волокон, нейронов и глии, а не об их функциональных взаимоотношениях.

Классическая теория мозговых функций основывается на прохождении электрических импульсов вдоль волокон к нейронам и от нейронов и не учитывает функций глиальных клеток. Роль же последних сводится к доставке энергии и физической поддержке (каркас) нейронов и волокон.

Эта теория, вполне удовлетворительная со многих точек зрения, не может объяснить целый ряд экспериментальных данных, и Галамбос в своей в высшей степени умозрительной статье предположил, что роль клеток глии значительно важнее, чем думают: это хранилище информации как приобретенной, так и унаследованной. Он предположил, что глиальные клетки «организуют» деятельность мозга подобно тому, как программа организует деятельность вычислительной машины.

Было бы неразумным продолжать эту аналогию, поскольку не доказано, что сама глия организована наподобие программы вычислительной машины. Рабочий объем вычислительной машины, которую каждый из нас носит в своем черепе, может быть представлен исходя из количества единиц информации, сохраняющейся в течение жизни человека, — 10^{15} битов. Эта информация, как полагают, сохраняется в коре мозга, толщина которой

0,25 см (2,5 мм), площадь — 2300 см², а плотность — 10 нейронов в 0,001 мм³. Общее количество нейронов, таким образом, — порядка $6 \cdot 10^9$. Глиальных же клеток в десять раз больше.

Клеток недостаточно, чтобы использовать их как детали вычислительной машины, и потому хранение информации в них является общим для многих видов информации. К такому выводу пришел в свое время Лэшли, основываясь на совсем других данных. Исходя из плотности и размеров перикария и разветвлений дендритических структур, можно показать, что много нейронов находится в сфере влияния одного нейрона и что возможностей взаимоотношений — астрономическое число.

Таким образом, многообразие форм поведения высших видов становится понятным, хотя еще и не объясненным.

Фундаментальной чертой обучения является отложение следов в памяти (энграмм), которые могут быть восстановлены и использованы в последующем.

Является ли хранение информации функцией нейронов или глии — пока неизвестно, но поскольку информация из рецепторов идет по волокнам в виде электрических импульсов, исследование электрической активности мозга может пролить свет на образование «следов памяти» и их последующую расшифровку.

Электрическая активность мозга

Сигналы из рецепторов в мозг передаются по волокнам как ряд импульсов, частота которых зависит от амплитуды внешнего раздражителя. Волокна входят в мозг, ветвятся, и входящий в мозг импульс распространяется на значительную область коры. Эти разветвления не входят непосредственно в тела нейронов, но заканчиваются на их поверхности, образуя синаптические бляшки, и импульс передается на нейрон через синаптическую мембрану. Из-за сильного ветвления импульс, переданный по одному-единственному волокну, воздействует с разной степенью интенсивности на большое количество нервных клеток (до 5000 нейронов). Каждый нейрон имеет много синаптических бляшек и может получать импульсы с различных волокон.

Импульсы, проходящие по волокнам, далеко не всегда имеют достаточную силу, чтобы заставить нейрон ге-

нерировать собственный импульс; для этого нужно суммированное воздействие импульсов со многих синапсов данного нейрона.

Электрическая активность отдельных нейронов измеряется введением микроэлектродов (диаметр 1 мк и менее) в тело клетки. Эта методика применялась в острых опытах на некоторых животных, что ограничивает ее полезность.

Микроэлектрод вводится «вслепую» в кору до тех пор, пока «вспышка» электрической активности не укажет на то, что электрод прошел через клеточную мембрану внутрь клетки. Эта «вспышка» угасает через несколько минут, и клетка продолжает функционировать как обычно, то есть нормально.

Одна из самых поразительных особенностей записей электрической активности клетки — наличие постоянных и медленно изменяющихся потенциалов (по отношению к внеклеточному электроду). Такую разность потенциалов нелегко объяснить теориями мембранной деполяризации. Именно это и заставило Галамбоса предположить, что клетки глии обуславливают медленные изменения потенциалов, а нейроны ответственны за быстрые импульсы — пики.

Доказательства теории Галамбоса очень слабы, но регистрация токов мозга с помощью вживленных электродов (100 мк в диаметре) показывает, что в тех участках мозга, где есть дефицит нейронов и избыток глии, регистрируются волны большой амплитуды, низкой частоты (менее 3 гц), синусообразной формы. С помощью серебряных дисковых электродов диаметром до 0,5 см, наложенных на поверхность кожи черепа, у людей удастся зарегистрировать ритмическую активность частотой порядка 8—13 гц, амплитуда, как правило, менее 80 мв.

Это альфа-ритм, который имеет максимальную амплитуду у затылка и наблюдается постоянно у 15% нормальных взрослых бодрствующих людей (I), у 15% никогда не наблюдается (II), а у 70% появляется только в случае, если глаза закрыты и мозг отдыхает (III). Статистические корреляции показывают, что субъекты, у которых нет альфа-ритма, имеют хорошую зрительно-образную память, в то время как люди типа I испытывают трудности при воспоминании зрительных образов. К типу III относятся люди, обладающие более или менее вы-

раженной способностью пользоваться как абстрактным, так и конкретно-зрительным способом мышления.

Нет еще теории, подкрепленной фактами, которая могла бы объяснить возникновение альфа-ритма. Грей Уолтер полагает, что альфа-ритм есть процесс развертки (сканирования) модели и потому ослабевает, когда модель создана (найдена). Это аналогично вращению радара, который автоматизирован по типу «ищи и следуй за целью», и когда информация получена, вращение прекращается.

Эта мысль приложима к субъектам типа III, но не приложима к субъектам типа I и II.

Купер и Мэнди-Касл показали, что альфа-ритм появляется и «перемещается» вдоль коры со скоростью 2 м/сек, и полагают, что альфа-ритм есть часть процесса передачи зрительной информации (которая уже прошла от глаз к зрительным полям затылочных долей) в другие части мозга для постоянного хранения.

Если это так, то люди типа II имеют хранилища памяти лишь в тех участках мозга, которые непосредственно связаны с зрительным центром, и это объясняет преимущественную роль зрительных образов в их мышлении.

Люди типа III имеют как зрительное хранилище памяти в затылочной области, так и «абстрактное» в других частях мозга, а у субъектов типа I вся зрительная информация передается в другие участки мозга (трансформируется в незрительную форму).

Эта теория подтверждается работой Ланзинга, который показал, что время реакции на зрительный раздражитель зависит от фазы альфа-ритма в момент действия раздражителя. Купер и Мэнди-Касл показали, однако, что это отнюдь не относится к слуховым раздражителям.

Поскольку слуховая кора находится в височной области, то информация передается, вероятно, иным способом. Другие доказательства и факты были получены при записях токов с электродов, вживленных в мозг психически больным людям с лечебной целью. Эти электроды, которые остаются в мозге в течение месяцев, могут быть использованы для записи спонтанных и реактивных потенциалов из глубины мозга.

Регистрация биотоков показывает инвариантный характер ответа; за первым ответом следует синхронизация на протяжении нескольких волн — спонтанная ак-

тивность. Это и есть в данном случае альфа-ритм. Фазовое торможение ритма увеличивается, если субъект концентрирует внимание, и уменьшается при отвлечении внимания. Поскольку энграмма зависит от того, было ли фиксировано внимание испытуемого, то постоянство мозговых следов (память) зависит от степени синхронизации спонтанной активности.

Как будет показано далее, долговременная память не зависит от прекращения электрической активности мозга; это говорит о том, что только передача информации и ее краткосрочное хранение происходят электрическим путем.

Память

Несмотря на нашу столь очевидную забывчивость, память о прошедших событиях очень трудно искоренить. Нет такого способа, с помощью которого зафиксированный памятью «след» мог бы быть удален из нервной сети.

Показано, что следы памяти не стираются при изменении температуры тела, во сне, при электростимуляции, при судорогах, вызванных электрическим током и биохимическим путем, при потере сознания. В некоторых состояниях, например при глубокой гипотермии с наркозом, исчезают все проявления электрической активности, но трудно поверить, что динамические электрические цепи обуславливают длительную память. Здесь надо искать какие-то другие физико-химические механизмы.

Имеются данные, что электрическая активность связана с существованием «латентной» памяти, которая затем «фиксируется» химическим путем через небольшой промежуток времени. Ретроградная амнезия, которая возникает при повреждениях мозга (травмах), является следствием прекращения функционирования клеток, фиксирующих следы памяти, поэтому теряется память на события, предшествовавшие травме.

Есть две группы теорий, объясняющих механизмы образования «следов», то есть фиксации событий в памяти. Для удобства их можно назвать физической и химической группами.

Сторонники физических теорий полагают, что энграммы образуются вследствие изменения физических харак-

теристик синаптических пластинок. Приверженцы химических теорий считают, что дело в перегруппировках белковых молекул.

Экклз — создатель теории синаптического набухания (гипертрофии) — показал экспериментально, что гипертрофия синапсов происходит при длительном их функционировании. Поскольку вследствие этого изменяются пространственные отношения волокон и нейронов, то легко себе представить, что усиленная деятельность нейронов приведет к увеличению функциональной эффективности их. Если это распространится на множество нейронов, подвергающихся импульсной бомбардировке при действии данного раздражителя, образуется совокупность нейронов с низким порогом возбудимости, причем эта совокупность может сохранять свои свойства (низкий порог) в течение длительного времени.

Повторное возбуждение этой совокупности может быть проведено каким-нибудь обобщенным сигналом или сигналом, который чем-то похож на первоначальный. Приверженцы теорий, подобных вышеприведенной, полагают, что энграмма образуется как специфическая последовательно-параллельная система нейронов. Однако эти теории очень трудно примирить с тем фактом, что мозг должен как-то обрабатывать входные данные.

Например, когда кто-либо «фиксирует» взором объект, то глаз не остается на месте, а совершает движения туда и назад. Это значит, что рецепторы сетчатки, на которые падает образ, волокна, по которым образ передается в мозг, то есть к нейронам зрительного центра, не остаются постоянными, но сменяют друг друга, и все же объект виден ясно и он неподвижен. Нервные импульсы передаются от нейрона к нейрону по аксонам, и все же поведение в целом формируется независимо от возбуждения тех или иных нейронов.

Эта дилемма генерализации еще не решена, хотя Хебб, используя физическую модель, намечает пути преодоления трудностей. Теория Хебба количественная, и ее нельзя изложить в двух строках, но сделанные им предположения так хорошо согласуются с анатомическим описанием коры, что, по всей вероятности, его теория окажется наиболее стойкой по отношению к критике.

Было предложено несколько химических теорий, объясняющих, как синаптическое «сопротивление» может быть уменьшено вследствие частого использования синапса.

Многие теории основываются на том наблюдении, что химические вещества, такие как адреналин и ацетилхолин, участвуют в передаче нервных импульсов через синапсы. Если бы можно было заставить эти химические реакции проходить более эффективно, то они могли бы послужить основой для памяти.

Одна из типичных теорий — теория Хидена, который выделяет четыре фазы в образовании энграммы и воспроизведении:

1. Возросшая нейронная активность благодаря характерной серии импульсов меняет структуру молекулы РНК тела клетки таким образом, что новая молекула РНК оказывается устойчивой к влиянию определенной модулирующей частоты. Это возбуждение специфицирует РНК нервной клетки.

2. Образуется белок с помощью специфицированной молекулы РНК; значит, и белок уже специфицирован.

3. Быстрая диссоциация специфицированного белка.

4. Последнее приводит к освобождению «передающих веществ» (медиаторов), которые облегчают проводимость нервных импульсов.

Первые две стадии связаны с фиксацией, то есть с образованием следов; воспроизведение связано с третьей фазой. Событие вспоминается потому, что нейрон и вообще все нейроны (из соответствующей совокупности нейронов) отвечают на данную частоту модуляции, которая определяется спецификацией белка. Это аналогично настроенному контуру, который воспринимает частоты, определяемые его индуктивностью и емкостью, но метод «настройки и детекции», который используется специфицированным белком, остается неясным.

Участие РНК в хранении генетической памяти показал Бреннер и др. В его теории ДНК клетки специфицируется и передается от родителя к потомству. ДНК является шаблоном для синтеза РНК, которая затем действует, как описано выше. ДНК не меняется при синтезе РНК и остается тем «подлинником», с которого снимаются копии.

Локализация памяти

Опыты, цель которых показать локализацию памяти в мозге, обычно заключаются в том, что животных обучают выполнять какую-либо задачу, а затем определяют локализацию соответствующей энграммы, удаляя различные части мозга.

Много таких опытов проделал, в частности, Лэшли, получивший, однако, поразительно малые — в смысле нахождения локализации — результаты. Удаление определенной части мозга, вообще говоря, не уничтожает следы памяти, и выходит, что сохраняемая информация широко распределена в обоих полушариях. Лэшли показал, что у крыс потеря способности выполнять какую-либо задачу зависит от величины удаленной части мозга, а не от локализации, при условии, что удаленная часть не является частью первичного сенсорного или моторного центра, связанного с выполнением задачи. У человека практически не бывает случаев потери такой энграммы, как собственное имя, ни при хирургических вмешательствах на мозге, ни при травмах, без огромных дефектов в памяти вообще.

Общая потеря памяти происходит, вероятно, вследствие нарушения «извлечения» из хранилища. Большая часть мозга может быть удалена хирургическим путем без всяких нарушений памяти (если предположить, что результаты опытов на животных могут быть перенесены на человека).

Проблема передачи моделей образов из одного полушария в другое недавно изучалась Майерсом. У нормальной кошки зрительный образ из одного глаза передается в оба полушария, но повреждение мозга в соответствующем месте может привести к тому, что изображение будет передаваться только к одному полушарию. После такой операции кошек обучали различению зрительных образов одним глазом (другой глаз закрыт). Затем задача передавалась другому глазу, и оказывалось, что другой глаз и, следовательно, другое полушарие, исполняли ее так же хорошо; значит соответствующие «следы памяти», связанные с выполнением задачи, фиксировались в обоих полушариях или в той части мозга, которая одинаково принадлежит обоим полушариям.

В дальнейших опытах с такими кошками Майерс перерезал волокна, соединяющие оба полушария. Затем кошек обучали выполнять задачу, причем один глаз был закрыт, и когда задачу передавали другому глазу, кошка выполнить задачу не могла, хотя можно было ее впоследствии научить этому.

Таким образом, изобретательно соединив хирургическую методику с методикой обучения, Майерс смог «поймать» энграмму в одном полушарии и теперь систематически изучает структуру системы хранения.

Другие исследователи показали, что обучение простого ассоциативного типа (звонок означает пищу и вызывает слюнотечение) может иметь место и у животных с удаленной корой, но задачи, связанные с уклонением от опасности (звонок означает удар, если не будет нажата кнопка), им решить значительно труднее. Выходит, что кора, в первую очередь у человека, участвует в решении сложных проблем, особенно когда требуется строгая последовательность действий во времени.

Опыты с удалением коры у человека, естественно, ограничены участками, которые необходимо удалить с целью лечения; и полученные результаты далеко не окончательные.

Очень интересны опыты Пенфилда; он показал, что у 25% исследованных электрическое раздражение височной доли вызывало комплексные воспоминания «давно забытых» событий. В памяти у людей всплывали мелодии, образы людей, ландшафты, воспоминания содержали слуховой и зрительный компоненты. Надо помнить, что исследованные были эпилептиками, у которых височная доля функционировала настолько плохо, что ее потребовалось удалить, дабы предотвратить дальнейшие эпилептические припадки и агрессивность.

Есть, однако, указания, что раздражение височной доли здоровых субъектов может дать ощущение «уже виденного».

Модели нервной деятельности

Последние достижения в развитии аналоговых и цифровых вычислительных машин, так же как теории цепей, привели к построению целого ряда устройств, которые имитируют — до определенной степени — отдельные аспекты деятельности мозга.

Несмотря на широковещательные претенциозные заявления (обычно не самих изобретателей), не произошло никакого решительного скачка в нашем понимании механизмов деятельности мозга. Однако благодаря реальности металлической конструкции создание моделей ведет к кристаллизации гипотезы, чего не всегда можно добиться, прибегая только к словесным описаниям. Модели особенно полезны, когда встроенные в них «элементы неопределенности» предотвращают, исключают возможность заранее точно предсказанного поведения.

Машина *Speculatrix* Грея Уолтера является примером простой модели, обладающей весьма разнообразным поведением. Другая модель, обладающая некоторыми характеристиками мозга,— гомеостат Эшби. В этой машине (в ней имеются переплетения петель обратной связи) устойчивость проявляется не только при правильном включении и правильном соединении элементов, но также и при неправильном включении и неправильном соединении их (ультраустойчивость).

Надо признать, что поведение животных не противоречит принципу ультраустойчивости, однако нет доказательств того, что в нервной системе воплощен этот принцип.

Высказанные замечания, увы, можно отнести ко всем машинным моделям, и если их учесть, то не будет никакого вреда от построения моделей и можно будет получить определенную информацию, используя моделирование. Нужно довольствоваться этими привлекательными устройствами, пока не придет день, когда математические модели дадут более удовлетворительное, хотя и не столь наглядное описание деятельности мозга.

Мозг и вычислительные машины

Любое сравнение мозга с вычислительными машинами неизбежно ведет к неправильной оценке либо мозга, либо вычислительной машины, ибо последние созданы для решения задач, которых мозг решить почти не в состоянии. Человечество развивалось по законам естественного отбора и выживания наиболее приспособленных, и в этом процессе развития 50-й десятичный знак числа π не очень важен. Будущее покажет, изменится ли положение вещей.

Несмотря на название «Универсальная вычислительная машина», электронные вычислительные машины — аналоговые и цифровые — сконструированы по весьма жестким спецификациям, и по соображениям экономии обычно требуется, чтобы избыточность компонентов была минимальной. Этого не скажешь о мозге, где имеется огромная избыточность ткани, которая может функционировать, но функционирование ее не обязательно, разве только в чрезвычайных обстоятельствах. Спецификация вычислительной машины — это ее достоинство и в то же время ограничение. Она сконструирована как надежный слуга, а не как сотрудник, иногда весьма рассеянный, поведение которого невозможно предсказать. Много усилий было затрачено для создания надежных систем из ненадежных элементов, но эти системы еще не вышли из стадии далеко не удовлетворительной теории.

До последнего времени память наших вычислительных машин содержала очень много громоздких элементов оборудования, и время извлечения информации, хотя само по себе небольшое, становилось очень большим из-за последовательного метода нахождения — необходимо обследовать все хранилище для извлечения какой-либо информации.

Развитие техники ферритовых сердечников и тонкопленочной памяти, вероятно, приведет к построению машин, больше похожих на мозг, хотя нет указаний на то, что спецификация точных проводных соединений будет оставлена и будет принят более диффузный тип соединения, как в мозге.

Число ячеек памяти возрастет, их размеры уменьшатся до величины нейрона; в лабораторных условиях для создания таких элементов потребуется весьма квалифицированный труд. Время извлечения нужной информации уменьшится — тонкопленочная память может быть включена в течение 10^{-9} сек и с нее можно считывать информацию миллионы раз, не разрушая ее. Такое быстрое извлечение информации из хранилища приведет к развитию действительно быстродействующих вычислительных машин, которые будут давать ответ почти мгновенно. Такие машины можно будет применить при научных испытаниях, для запуска ракет — непредвиденное отклонение от заданной траектории вызовет немедлен-

ный ответ в виде информации на исправление неверного курса.

Появляются и другие устройства с «логической памятью», которые решают целый ряд различных задач без необходимости специального программирования.

Различные вводимые в машину характеристики специфицируются на основе данных, хранящихся в памяти машины; их можно считать аналогами «генетической памяти», которую Галамбос приписывает клеткам глии.

Итак, мы видим путь: увеличение количества ячеек памяти, уменьшение времени извлечения информации, мгновенная реакция (ответ) и отсутствие необходимости заранее программировать каждую задачу.

Учитывая, что развитие электронной вычислительной техники началось всего 10 лет тому назад, а человек развивается уже миллионы лет, надо признать большие успехи вычислительной техники. В век ракет возрастает нужда в быстрых вычислениях, но будут ли созданные вычислительные машины иметь полезные «мысли» об улучшении судеб человечества — это будет зависеть от человека, который должен задавать машине разумные вопросы.

БИОКИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ЗАКОН ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ СКОРОСТНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ¹

М. К л а й н с

Введение

При изучении поведения биологических систем прежде всего нужно рассмотреть те отношения, при которых ответная реакция находится в какой-то количественной связи с интенсивностью раздражения.

Если отношения между количественной мерой ответа и раздражителя носят монотонный характер, то есть, если ответ возрастает при возрастании силы раздражителя, то это справедливо для любых уровней интенсивности работы системы. Выражается ли это отношение логарифмической, показательной или другой линейной или нелинейной функцией,— во всех случаях можно сказать, что в этих системах мы ищем монотонную зависимость между величиной раздражителя и величиной ответа.

Система, в которой имеется такая зависимость, может быть названа чувствительной к количеству раздражителя. Большинство физиологических исследований посвящено оценке такого рода чувствительности. Мы будем называть такую зависимость между раздражителем и ответом «пропорциональной», отнюдь не предполагая при этом, что зависимость линейная.

Но в физиологических системах существует и другая чувствительность — к скорости изменения раздражителя, а не к его величине. Там, где ответ на раздражение не указывает на изменение уровня раздражителя,— там не-

¹ С незначительными сокращениями.

пременно имеется чувствительность к скорости изменения. Такое «забывание» абсолютного количественного уровня раздражителя называется адаптацией, однако в этом понимании адаптация не есть активный процесс, это просто отсутствие непрерывной информации об уровне (величине) раздражителя.

Чувствительность к скорости часто обнаруживается там, где об адаптации и не подозревают. Например, барорецепторы каротидного синуса чувствительны к скорости изменения кровяного давления.

В системах, чувствительных к скорости, передается информация о скорости изменения, а также (если ответ системы замедлен по сравнению со скоростью изменения раздражителя) об общей величине изменения раздражителя.

Иногда после того как раздражитель изменился (установлен на новом уровне), система со скоростной чувствительностью не «помнит» об этом изменении. Это значит, что ответ системы является нулевым, хотя раздражитель продолжает действовать на новом уровне.

Для скоростной чувствительности характерен ответ конечной длительности, который является также мерой общей величины изменения, в противоположность «пропорциональному» ответу, где информация об изменении раздражителя выражается в непрерывном изменении уровня ответной реакции (слова «раздражитель» и «ответ» являются синонимами слов «вход» и «выход»).

Многие биологические системы обладают комбинацией пропорциональной и скоростной чувствительности. Но зачастую между ними не делают различия.

Цель статьи — указать на многие интересные последствия, вытекающие из ограничения биологических ответов на изменение скорости и отсутствия ограничений ответов пропорциональных. Что эти два аспекта передачи информации могут быть подвержены независимым воздействиям — это не удивительно, хотя и недостаточно исследовано. Весьма существенно то обстоятельство, что в биологических системах есть функциональные и структурные ограничения для передачи информации об изменении скорости.

Мы покажем, что существуют непреодолимые термодинамические ограничения для элементов, чувствительных к скорости; поэтому один канал информации может

быть чувствителен к скорости изменения раздражителя только в одном направлении, то есть либо к возрастанию скорости, либо к убыванию.

Однонаправленная скоростная чувствительность

Однонаправленная скоростная чувствительность (ОСЧ) изучалась на биологических рефлекторных системах. При ближайшем рассмотрении оказалось, что причина этого свойства кроется в самой природе биологических каналов связи. Однонаправленная скоростная чувствительность является необходимостью и следствием биологического существования. Но хотя причина ее лежит в биологической структуре, она может быть обнаружена только в динамических условиях. Поэтому ее и называют биокибернетическим законом, ибо она относится исключительно к способу возможных динамических изменений и передачи информации и регулирующих воздействий.

При рассмотрении одиночного канала передачи биологической информации, например одиночного рецептора, который связан с мозгом, становится совершенно очевидным, что в одном или нескольких местах этой цепи информация передается с помощью химических веществ, и концентрация этих веществ представит передаваемую информацию. Ясно, что в таких местах концентрация вещества A колеблется в соответствии с передаваемой информацией. Это можно выразить иными словами: концентрация вещества A является аналогом информации, полученной от данного раздражителя. Значит, если информация есть скорость изменения раздражения, то и химический аналог передает скорость изменения раздражителя. В результате возникает ряд трудностей.

Представим себе сосуд с водой, в который мы бросаем кристаллы соли в ответ на изменение раздражителя. Очень легко увеличить концентрацию соли в сосуде, бросив туда несколько кристаллов. Но если произойдет изменение раздражителя в противоположном направлении, то ответ должен заключаться в уменьшении концентрации соли в сосуде. Увеличить концентрацию было легко, а как ее уменьшить без применения других химических веществ?

Если мы примем, что где-то вдоль нервного проводящего пути химическая концентрация повторяет все колебания (флюктуации) информации, то мы должны учесть и все ограничения, которые возникнут, и в пределах которых эти флюктуации могут адекватно передавать информацию. Рассмотрим возможные способы изменения концентрации химических веществ на пути передачи биологической информации. Возьмем три типичных случая.

Химическое вещество освобождается из железы. Освобождение его происходит благодаря сокращению степок хранилища этого вещества, которое мы назовем камерой *A*. В результате химическое вещество *A* поступает в камеру *B*, где уровень концентрации является аналогом информации. Концентрация химического вещества *A* в камере *B* значительно ниже, чем в камере *A*. В камере *B* это вещество включается в процессы обмена и скорость его исчезновения из камеры *B* есть функция метаболических процессов и «скорости очищения» камеры *B*.

Для того чтобы уровень концентрации вещества *A* в камере *B* был постоянным, необходимо, чтобы скорость притока его была равна скорости исчезновения. Другими словами, скорость притока должна быть равна сумме скорости метаболизма и скорости очищения.

Если скорость притока равна нулю, то исчезновение вещества из камеры *B* будет проходить максимально быстро. Ускорить ее еще больше невозможно без воздействия второго химического вещества *C*, которое может выделяться другой железой и которое разрушает вещество *A* или парализует его активность. Но выделение второго вещества есть уже второй канал связи, и эта ситуация выходит за рамки нашего рассмотрения. Быстрое увеличение концентрации вещества *A* в камере *B* может быть обеспечено, несмотря на константу выведения, быстрой секрецией вещества *A*. Скорость секреции, вернее ее превышение над скоростью выведения, и определит скорость возрастания концентрации. Имеется прямая зависимость между скоростью секреции и скоростью возрастания концентрации. Но с другой стороны, если скорость секреции снижается или даже прекращается вовсе, то скорость уменьшения концентрации вещества *A* в камере *B* ограничена константой выведения. Если она невелика по сравнению со скоростью изменения

передаваемой информации, то ясно, что концентрация не сможет поспевать за быстрыми изменениями скорости в двух направлениях. Для этого нужно было бы секретировать отрицательную концентрацию вещества A , что является нелепостью. Мы стоим лицом к лицу с ограничением, которого нет в электрических системах передачи информации, где положительные и отрицательные аналоговые количества могут передаваться одинаковыми динамическими характеристиками ответа.

Факт, что отрицательная концентрация вещества невозможна, накладывает ограничение на динамические характеристики систем передачи информации. Теория связи была развита прежде всего для электрических систем, а свойства и характеристики биологической связи еще предстоит исследовать.

Ограничение скорости изменения информации аналогично действию диода, выпрямителя или клапана, который пропускает ток лишь в одном направлении. Это значит, что хотя пропорциональная информация может свободно передаваться химическим аналогом, скоростная чувствительность может быть передана только увеличением химической концентрации. Означает ли это увеличение концентрации возрастание скорости или ее снижение — зависит от конкретного устройства системы.

Значит, для передачи информации об изменении скорости (как снижении ее, так и возрастании) необходимо иметь два биологических канала передачи информации. Ситуацию можно сравнить с необходимостью иметь две группы мышц — агонистов и антагонистов, чтобы производить движения в любом направлении. Ограничение не относится к состоянию динамического покоя, при котором концентрация в камере B может выразить изменения в обоих направлениях, так как при этом не возникает требования, чтобы нулевая ось информации соответствовала нулевой концентрации.

Ступенчатое изменение информации при «пропорциональной» чувствительности приводит к увеличению скорости секреции, которая поднимает концентрацию в камере B на новый, более высокий уровень. Для этого требуется время, определяемое константой выведения.

Аналогичный процесс происходит при уменьшении величины раздражителя. Но если речь идет о чувствительности и скорости, то дело обстоит по-другому.

В ответ на ступенчатое возрастание величины раздражителя скорость продукции химического вещества увеличится, а затем постепенно вернется к первоначальной. Вся площадь, ограниченная соответствующей кривой, обозначает общее количество выделенного химического вещества в ответ на ступенчатое изменение величины раздражителя и является мерой этого изменения.

Изменение раздражителя в противоположном направлении должно было бы вызвать продукцию такого же, но отрицательного количества химического вещества. Это возможно в том случае, когда секреция вещества находится в состоянии покоя, то есть скорость секреции вещества при неизменяемом раздражителе достаточно высока и уменьшение этой скорости эквивалентно секреции «отрицательного количества» химического вещества. Это маловероятно по трем причинам:

1) потребуется большой расход вещества при отсутствии какой-либо информации, то есть при нулевом изменении раздражителя;

2) у системы была бы очень низкая чувствительность из-за высокой скорости секреции вещества в состоянии покоя;

3) поскольку для системы важно получить информацию о направлении (знаке) изменения, то высокий уровень покоя потребовал бы наличия устойчивого компаратора, доступного в любой части системы, малейшая флюктуация его вызвала бы ложное сообщение об изменении знака скорости раздражителя.

Орган, чувствительный к изменению скорости, в математическом смысле производит дифференцирование. Выход чувствительного к скорости воспринимающего органа (сензора) должен быть равен нулю, если скорость постоянна (производная постоянной есть нуль). Постоянный уровень активности делал бы для организма очень трудным различие между изменением и отсутствием изменения, так как на выходе получаются только дифференциальные изменения.

Следует подчеркнуть, что эти соображения не относятся к пропорциональной чувствительности или к тем ее элементам, которые входят в состав сложных пропорциональных и скоростных чувствительных приборов. Активность пропорциональных чувствительных элементов зависит от величины раздражителя.

Таким образом, однонаправленная скоростная чувствительность есть более эффективный и чувствительный способ передачи информации в биологических системах.

Возникает вопрос — каким образом организм комбинирует пропорциональную информацию и информацию скоростной чувствительности.

Может показаться, что этим двум динамическим мерам соответствуют отдельные информационные пути в организме: два канала для двусторонней скоростной чувствительности и один — для пропорциональной чувствительности. Каким образом передаваемая по этим каналам информация обрабатывается в нервной системе — необходимо исследовать.

Поскольку чувствительность к скорости часто бывает связана с экстраполяцией и предвосхищающими ответами, то можно сказать, что предвосхищение невозможно, если имеется лишь один канал информации об изменении скорости процесса, так как он передает информацию об изменении лишь в одном направлении (возрастание или убывание).

Другой путь изменения концентрации химического вещества в камере — изменение скорости секреции его в сензоре или в каком-либо звене линии связи. Например, ацетилхолин продуцируется в синапсах и облегчает прохождение импульсов способом, который может быть описан как конверсия аналогового процесса в цифровой и цифрового в аналоговый. Это значит, что частота импульсов, приходящихся на один синапс, заставит продуцировать ацетилхолин в количествах, пропорциональных этой частоте. Концентрация ацетилхолина продуцирует «выходную» частоту, пропорциональную концентрации.

Если приток импульсов прекратился, то концентрация ацетилхолина будет снижаться с максимальной скоростью при условии, что другие факторы, влияющие на секрецию и разрушение ацетилхолина, остались без изменений (холинэстераза и адреналин). Поэтому здесь приложимы те же соображения, что и к первой ситуации.

Ограничение, хотя и другого рода, заключается в повторяющейся импульсации рецептора, когда изменение скорости можно снизить до нуля, но не ниже. Однако здесь импульсация при постоянном уровне раздражителя зачастую достаточно велика и позволяет в какой-то мере передавать информацию об изменении скорости.

Третий возможный метод изменения концентрации

химического вещества — диффузия его через мембрану или отверстие. Диффузия может быть активной и пассивной, в одном и в обоих направлениях. При пассивной диффузии можно получить состояние равновесия, которое зависит от скорости инфузии и скорости выведения. Согласно положениям термодинамики химическое вещество не может перейти из менее концентрированного в более концентрированное состояние. Например, вытекание химического вещества сквозь узкое отверстие в более широкую камеру приводит к необратимому разведению его. Ясно, что ограничение, связанное с невозможностью отрицательных концентраций, приложимо к данному случаю.

При активной транспортировке вещества с вовлечением ферментативных систем или других каталитических элементов на динамику системы можно воздействовать. Но это уже будет отдельный канал регулирования. При передаче информации через изменение осмотического давления надо учитывать, что осмотическое давление можно быстро уменьшить добавлением несуществующих отрицательных концентраций или действием еще одного агента, например разведением. Первое невозможно, второе является воздействием еще одной системы, то есть самостоятельным каналом связи.

Практическое значение следствий из этого свойства биологических систем заключается в том, что они обуславливают различные формы поведения биологических систем, которые раньше казались необъяснимыми и даже не признавались. Понимание причин такого поведения часто позволяет увидеть закономерность там, где раньше ее не находили, найти информацию в том, что раньше считалось шумом, отличить нормальную реакцию от патологической.

Асимметрия, описанная нашим законом, приводит к динамической нелинейности форм поведения, которая немыслима в условиях динамически устойчивого состояния. В результате получается асимметрия в ответе на симметричный динамический раздражитель. Более того, повторяющиеся симметричные раздражители являются причиной изменений в уровне выхода, зависящих от частоты раздражений — феномен утомления. Могут возникнуть весьма специфические осцилляции, которые не встречаются в обычных системах с обратной связью.

Однонаправленная скоростная чувствительность открывает широкое поле для математических исследований автоматического регулирования в описанных выше системах.

Экспериментальные доказательства

Практическое приложение динамического анализа и теории регулирования к изучению биологического поведения сделало возможным в последнее время изучение нервной системы количественными методами.

Изучая отношения между раздражителем и ответом, можно получить количественные закономерности, содержащие информацию о структуре и взаимоотношениях компонентов изучаемой системы.

Ответы на раздражители изучаются со стороны их длительности и характера. Тщательно исследуются отношения между динамикой ответа и динамической природой раздражителя.

Мы изучали два рефлекса: зависимость частоты сердечных сокращений от дыхательных движений и реакцию зрачка на свет.

Метод динамического анализа

Метод динамического анализа биологических регулирующих систем состоит из следующих четырех этапов:

1. Сбор данных о системе с целью получения максимума информации о динамических взаимоотношениях в ней.

2. Составление дифференциальных уравнений на аналоговых вычислительных машинах, выражающих динамические взаимоотношения собранных данных.

3. а) Правильность уравнений, описывающих ответ биологической системы на произвольный вход (возмущение), проверяется путем сопоставления предсказанного поведения системы с наблюдаемым в опыте (при варьировании входов);

б) если уравнения верны, соответствующие системы различных индивидов должны отличаться только по параметрам, а не по структуре уравнений, и индивидуальные реакции описываются этими параметрами.

4. Можно делать предсказания о структурной орга-

низации и свойствах компонент этих систем из уравнений и известных физиологических фактов. Предсказания проверяются экспериментом.

Метод динамического анализа включает в себя все элементы фундаментального научного метода: сбор данных, абстрагирование, верификация, предсказание.

Влияние дыхания на частоту сердечных сокращений

Мы применили этот метод к изучению влияния дыхания на частоту сердечных сокращений и получили следующие результаты.

Изменение частоты сердечных сокращений при дыхательных движениях является следствием основного рефлекса, который мы назвали дыхательно-сердечным рефлексом (ДСР). Он имеет двухфазную природу, продолжительность его 15 сек. Рефлекс вызывается вдохом, зависит от рецепторов, воспринимающих растяжение грудной клетки, а не от гемодинамических факторов.

Динамический анализ этого рефлекса позволяет предсказать изменения частоты сердечных сокращений при различных произвольно применяемых ритмах дыхания. Мы обследовали 1000 человек, и двухфазная природа ДСР ни разу не была реверсированной. Всегда вначале шла фаза ускорения (учащения), а затем замедления.

Математический анализ этих рефлексов и результатов опытов приводит к следующим физиологическим выводам.

1. Рефлекс вызывается рецепторами, воспринимающими растяжение грудной клетки, а не гемодинамическими факторами.

2. Факторы, воспринимающие растяжение грудной клетки, чувствительны только к вдоху и нечувствительны к выдоху.

На изменение частоты сердечных сокращений накладываются влияния дыхательно-сердечного рефлекса, и полученный результат зависит от того, успевает ли одно рефлекторное воздействие полностью проявиться прежде чем вступит в действие следующий рефлекс. Совпадение наблюдаемой и предсказанной частоты сердечных сокращений при различных типах дыхания есть доказа-

тельство правильности дифференциальных уравнений, описывающих это явление.

Важно отметить, что рефлекс возникает в ответ только на растяжение, то есть на одностороннее изменение скорости.

Реакция зрачка на свет

Теперь рассмотрим реакцию зрачка на свет. Получены следующие результаты.

1. Вспышка света вызывает сужение, а затем вновь расширение зрачка.

2. «Вспышка темноты» (то есть кратковременное понижение уровня освещенности), вопреки ожиданию, также вызывает сужение, а не расширение зрачка. Эффект очень похож на то, что наблюдается при вспышке света, только амплитуда его меньше.

3. Ступенчатое увеличение освещенности вызывает реакцию зрачка, весьма похожую на реакцию на одиночную вспышку, но до первоначального уровня зрачок не расширяется.

4. Ступенчатое понижение освещенности вызывает небольшое расширение зрачка.

Итак, только последний ответ однофазный, все остальные — двухфазные.

Прежде всего необходимо объяснить эти четыре формы поведения, дать математическое представление, объясняющее реакции зрачка. Действие раздражителя имеет два аспекта:

1) эффект есть функция освещенности; 2) эффект есть функция скорости изменения освещенности.

Вторая функциональная зависимость существует лишь при увеличении освещенности, поэтому уменьшение освещенности не дает эффекта изменения скорости.

Раздражителем рефлекса на изменение скорости является только первая фаза вспышки, связанная с увеличением освещенности. Таким образом объясняется сходство ответов на вспышку света и «вспышку темноты».

С помощью математических уравнений оказалось возможным моделировать поведение зрачка при различных формах световых раздражений. Совпадение расчетного диаметра зрачка с наблюдаемым в эксперименте

при различных световых раздражениях подтверждает правильность анализа.

Мы сослались на два примера рефлексов, которые приводятся в действие изменением скорости.

Скорость изменения раздражителя оказывается эффективным раздражителем, если изменение происходит в одном направлении (то есть либо возрастает, либо убывает), в случае дыхательно-сердечного рефлекса — это растяжение грудной клетки, в случае зрачкового — увеличение освещенности.

Вдобавок к восприятию скорости изменения раздражителя может существовать и чувствительность к общему его количеству. Такая реакция на общее количество раздражителя постоянной интенсивности имеется в зрачковом рефлексе. (Не смешивать ее со световой адаптацией.)

Результирующая реакция зрачка складывается из комбинации чувствительности к скорости и чувствительности к количеству.

Тактильная информационная система

Третий пример системы передачи информации, которая может работать лишь при одностороннем изменении скорости, — чувство осязания, связанное с распознаванием объектов.

Прикосновение к объекту благодаря деформации тактильных рецепторов дает информацию о количестве выступающих частей. По прошествии некоторого времени, в течение которого рецептор остается в соприкосновении с объектом, он адаптируется к нему и больше не дает информации о количестве выступающих частей (шероховатостей). Если теперь отстранить рецептор от объекта (например, убрать палец), то обратная деформация (в момент удаления пальца с объекта) не дает никакой информации о форме объекта. Скорость изменения, к которой рецептор чувствителен, имеет только один знак (одно направление).

Опыт с выступающими булавочными головками подтверждает это. Он заключается в следующем. Испытуемый прикасается пальцем к выступающим над плоскостью булавочным головкам (три—шесть штук) и легко определяет наощупь их количество. Булавочные го-

ловки избраны для того, чтобы свести к минимуму температурные раздражения.

Через 2 мин испытуемый уже не чувствует пальцем булавочных головок. Тогда часть головок потихоньку удаляют, и испытуемый этого не ощущает. Теперь предлагают убрать палец (не производя никаких посторонних движений). Физически это вертикальное смещение пальца, прямо противоположное по направлению тому движению, которое производилось при соприкосновении с булавочными головками.

Испытуемому предлагают ответить — сколько головок было в момент отрыва пальца. Результат неизменно один — отрыв пальца от булавочных головок не дает никакой тактильной информации о количестве их. Значит, отрицательная (обратная) деформация пальца не дает тактильной информации, аналогичной той, которую дает первоначальная деформация.

Причиной этого является не «насыщение» и не онемение, что легко демонстрируется, если предложить испытуемому вновь коснуться булавочных головок. В этом случае непременно будет получена информация о их количестве.

Барорецепторы каротидного синуса

Четвертый пример — реакция каротидного синуса на изменение давления в сонной артерии. Здесь изменения частоты импульсов, зависящие от изменений давления, являются суммарным ответом на пропорциональную и скоростную функции сенсора. Но скоростная чувствительность и здесь воспринимает изменение скорости лишь в одном направлении, а именно — скорости возрастания давления. Этим можно объяснить тот факт, что падение давления при каждом сокращении сердца после максимального его возрастания не вызывает резкого уменьшения частоты импульсации. Такое уменьшение возникало бы, если бы скоростная чувствительность воспринимала и возрастание и падение давления.

Исследование мышц также обнаруживает нелинейные зависимости, которые легко объяснить как следствие одноподirectional скоростной чувствительности.

Если пытаться найти основную причину форм поведения, описанных в наших четырех примерах, то придет-

ся исследовать возможности передачи информации при структурных ограничениях, которые вытекают из строения систем. Такие системы имеют две основные черты:

- 1) химическая и электрохимическая природа передачи информации;
- 2) однонаправленное продвижение информации по этим структурам.

Изучение упомянутых свойств привело к обобщениям, которые ретроспективно кажутся ясными с самого начала. Однако лишь с помощью экспериментов мы смогли прийти к нашим выводам.

В ы в о д ы

Характеристики поведения систем, вытекающие из однонаправленной скоростной чувствительности

Отметим некоторые особенности динамического поведения систем с однонаправленной скоростной чувствительностью.

1. Ответы на импульсные раздражители противоположных полярностей не погашают, но усиливают друг друга (например, вспышка света и «вспышка темноты» вызывают сужение зрачка). В терминах теории регулирования это звучит так: ответ на двойной импульс равен удвоенному ответу на одиночный импульс и не зависит от полярности (направления) двойного импульса.

В такой системе ответ на раздражитель не может быть погашен применением другого раздражителя, противоположного по знаку. Это значит, что если реакция началась, то она уже не может быть прекращена и должна идти своим путем.

Этот факт имеет важные приложения. Можно, например, предсказать, что реакция одного глаза на вспышку света не может быть погашена одновременным воздействием на другой глаз «вспышкой темноты». Иными словами, не может быть эквивалентной «вспышки темноты».

Отсюда следует, что аддитивная алгебра биологических систем ничего общего не имеет с обычной арифметикой. На одиночное импульсное раздражение биологические системы с однонаправленной скоростной чувстви-

тельностью отвечают по следующему арифметическому правилу:

$$2+2=4;$$

$$2-2=4.$$

Применение этой арифметики в биологии ведет к весьма интересным последствиям.

Еще один пример — реакция страха при внезапной опасности, например при аварии, когда жизнь человека висела на волоске. Реакция страха продолжается, хотя опасность уже давно миновала.

2. Прерывистое раздражение той же интенсивности, что и непрерывное, всегда дает больший средний эффект.

Например, повторный световой прямоугольный раздражитель при частоте три в секунду вызывает большее среднее сужение зрачка (иногда называемое тетаническим сокращением), чем непрерывное световое раздражение или прерывистое, но при меньшей частоте. Причина этого — в процессах выпрямления, которые присущи функции скоростной чувствительности. В результате образуется компонента постоянного тока, которая чувствительна к частоте. Однако при достаточно высокой частоте ответ на изменение скорости уже не успевает за частотой из-за интегрирования временной константы.

Именно так и ведет себя зрачковый рефлекс на свет, хотя интегрированная временная константа не обязательно та же, что и при слиянии зрительного изображения.

Поведение систем, содержащих паччиниевы тельца, и мышц также следует этому правилу, хотя здесь требуются дополнительные доказательства.

Исследование утомления как феномена, связанного с однонаправленной скоростной чувствительностью, буквально напрашивается.

3. В системах с однонаправленной скоростной чувствительностью благодаря этому свойству могут возникать стойкие осцилляции. Например, осцилляции зрачка, вызванные пучком света, падающим на край зрачка, зависят от чувствительного к скорости двухфазного ответа. Это легко понять, если учесть, что обратное расширение зрачка является второй фазой скоростной реакции на свет, а не реакцией на темноту. Природа этих осцилляций совсем не та, что у обычных систем с обратной связью. Для них характерно то обстоятельство, что боль-

шая часть осцилляции происходит пассивно в то время, когда раздражитель не действует.

Частота этих осцилляций — функция времени протекания пассивных компонентов реакции и зависит от интенсивности раздражителя.

4. Система с однонаправленной скоростной чувствительностью при наличии симметричных входов дает асимметричный выход. Асимметрия есть функция частоты раздражения.

Если применить методы анализа Фурье, то будет отмечена большая вторая гармоническая компонента, но величина второй гармоники будет зависеть от частоты раздражителя, а не от амплитуды. Здесь имеет место нелинейность динамическая, а не статическая. Необходимо отличать в поведении нелинейность динамическую от нелинейности при постоянном уровне раздражителя.

Динамическая асимметрия наблюдается в изменении постоянного тока под влиянием частоты (о котором говорилось выше). Свойства систем с однонаправленной скоростной чувствительностью не могут быть здесь описаны математически во всех подробностях. Однако ясно, что эти свойства играют роль в поведении многих биологических систем. Описанный нами закон позволяет причинно объяснить наблюдаемые очень сложные формы поведения. Возможно, что к некоторым системам этот закон неприменим, но все равно полезно помнить о нем, исследуя динамические и статические свойства биологических систем. Ограничения передачи информации, описанные нашим законом, относятся не только к рефлексам, вызываемым внешним раздражителем, но и к рефлексам с внутренних органов.

Нужно подчеркнуть, что применение динамического анализа и кибернетики к изучению живых систем отнюдь не означает механистического взгляда на жизнь. Оно лишь помогает раскрывать всю сложность регулирования, но первопричина возникновения регулирования, как и прежде, остается тайной.

Математическое добавление

В тексте статьи были высказаны соображения, которые привели нас к формулировке биокибернетического закона. Здесь мы приводим формулировки в математической форме.

1. Закон однонаправленной скоростной чувствительности утверждает, что для системы раздражитель—ответ: $Y = xf_1(y, \dot{y}, \ddot{y} \dots, x, \dot{x}, \ddot{x} \dots) + \Omega xf_2(y, \dot{y}, \ddot{y} \dots, x, \dot{x}, \ddot{x} \dots)$, где x — вход (раздражитель), y — выход (ответ), Ω — оператор, причем $\Omega = 1$, когда $\frac{dx}{dt} \geq 0$, и $\Omega = 0$, когда $\frac{dx}{dt} < 0$.

2. Дыхательно-сердечный рефлекс (ДСР) математически выражается так:

$$\frac{V}{R} = \frac{-KS^2}{(1 + T_1S)(1 + T_2S)},$$

где V — преобразование Лапласа для торможения водителя ритма, R — преобразование Лапласа для дыхания (окружность грудной клетки), S — оператор Лапласа, K — константа чувствительности, T_1 и T_2 — временные константы;

и

$$\frac{1}{4\pi^2 r_0^2 - (V_0 + \Delta V)} + \frac{d^2 y}{dt^2} + y = 0,$$

где параметр r_0 соответствует частоте сердечных сокращений при полном отсутствии вагусного торможения; V_0 — нормальное торможение водителя ритма; ΔV — изменение торможения водителя ритма при дыхательных движениях; y — выход водителя ритма, имеет периодическое решение.

Максимальные значения y соответствуют максимальной импульсации водителя ритма.

3. Реакция зрачков на свет математически описывается так:

$$\frac{D}{L} = \frac{-be^{-T_4 S}}{(1 + T_4 S)} + \Omega \frac{-aSe^{-T_3 S}}{(1 + T_1 S)(1 + T_2 S)},$$

где S — оператор Лапласа, D — преобразование Лапласа для диаметра зрачка, L — преобразование Лапласа для освещенности, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 — временные константы, a, b — константы чувствительности.

В обычной записи эти уравнения выглядят так:

$$D + T_4 \frac{dD}{d(t + T_5)} + bL = 0 \text{ (для пропорционального ответа);}$$

$$D + (T_1 + T_2) \frac{dD}{d(t + T_5)} + T_1 T_2 \frac{d^2 D}{d(t + T_3)^2} + a \left[\frac{dL^+}{dt} \right] = 0$$

(для ответа по типу скоростной чувствительности, где D — диаметр зрачка, L — освещенность, а знак $+$ в квадратных скобках означает, что $\frac{dL}{dt}$ может иметь только положительные значения).

НОВЫЕ СООБРАЖЕНИЯ В КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ¹

Р. Бернгард

1. Предварительные замечания

Нет нужды доказывать, что философские и методологические вопросы в той области, которая занимается созданием искусственного (машинного) мышления, являются запутанными и спорными.

В этой области, требующей вторжения во взаимоотношения мозга и поведения, человек испытывает глубокое разочарование, сталкиваясь с проблемами, которые встают перед наукой со стороны ее «слепого пятна». Проблемы, о которых идет речь, очень неопределенно изложены; переменные, встречающиеся в них, не могут быть измерены обычными физическими методами; качество взаимодействия кажется противоречащим законам природы.

Весьма существенная особенность вытекает из известных теорем неполноты и неразрешимости Геделя и Тарского. Мы к этому вернемся в дальнейшем, а здесь только заметим, что эти теоремы не просто имеют прямое отношение к созданию автоматов с полностью детерминированными свойствами, но воздвигают преграду исчерпывающему познанию любой системы, которая описывается аксиоматическим формальным языком.

В предварительных замечаниях мы коснемся неспособности кибернетики дать модель умственной деятельности, которая навсегда покончила бы с дуализмом в трактовке вопроса мышление — мозг и с неуклонным

¹ С незначительными сокращениями.

сползанием к признанию первичного организатора поведения (гомункула).

В настоящее время теорема Геделя — Тарского выдвигает требования метаматической модели. Это, однако, не более того, с чем сталкиваются при исследовании любых загадок природы.

С какой точки зрения можно понять проблему создания машин, обладающих «человеческими» способностями?

2. Сознание и познание

Создатели разумных машин возлагают большие надежды на выяснение природы «сознания» как наиболее важного фактора в концепции «конечной машины», то есть искусственной системы, как угодно близко имитирующей способности человека. Эта точка зрения ставит во главу угла «сознательный, или волевой, акт», который предшествует всякому проявлению способности решать проблемы, то есть всякому умственному процессу, и совершенно не учитывает психоаналитическую теорию и соответствующие экспериментальные факты. Исследователи сами закрывают себе ход в область, изучение которой может оказаться наиболее плодотворной.

Мысль Фрейда, что каждый умственный акт начинается в подсознании и может оставаться там, а может перейти в сознательный в зависимости от сопротивления, которое он встречает, хорошо подтверждается экспериментально.

Это значительно меняет традиционные представления и показывает, что акт познания включает в себя начальную фазу на уровне подсознания и потенциальную конечную фазу — сознательное восприятие. Инженер, занимающийся теорией регулирования, изложил бы последовательность событий не раздражитель — восприятие — ответ, а раздражитель — ответ — осознание.

Значит, нет тождества между восприятием и осознанием. Это положение имеет всеобщий характер и может быть распространено на самые сложные виды деятельности. Человек может воспринимать, накапливать опыт, не осознавая событий. Это правило, которое является фундаментальным для классической психоаналитической теории, наглядно демонстрируется в опытах, где сенсорные раздражители (слова), которых испытуемый не осознал, использовались для создания условного рефлекса.

Произнесение этих слов на допороговом уровне вызывало тот же эффект, что электрический удар, который раньше сочетался с этими словами. Эффект заключался в субсенсорных кожно-гальванических реакциях, так что рефлекторный ответ тоже проходил на подсознательном уровне.

Кто хорошо разбирается в физике, тот согласится без колебаний, что один из аспектов проблемы «нормального» функционирования связан с шириной полосы так называемых сознательных систем. Но не следует уклоняться от дальнейшего рассуждения, которое приводит к выводу, что подсознание имеет большую пропускную способность канала, большую ширину полосы и исполняет более сложные функции, чем сознательные системы.

Структура личности, включая и «невротические» способы функционирования, определяет (через подсознательное восприятие) содержание умственных процессов и форму, в которой тот или иной образ и мысль пройдут в сознание или останутся на подсознательном уровне.

Работы в области «умных машин» не учитывают истинных данных о природе и способности «человеческой системы». Явное, описанное словами и наблюдаемое поведение человеческой системы является типичным только для сознательного уровня умственной деятельности (т. е. поверхностного уровня). Более глубокая природа системы скрыта от наблюдения, ее проявления можно изучить, по-видимому, только с помощью методов классической психоаналитической теории.

Нужно подчеркнуть, что перцепция и весьма сложные процессы мыслительной активности формируются на этапах, не зависящих от сознательной деятельности, формируются из мотивов, в какой-то мере объяснимых в рамках психоаналитической теории. Это подрывает значение традиционного различия между «субъективным» и «объективным» поведением. Наивное наблюдение одного лишь явного поведения приводит к ложным выводам. В следующем разделе мы остановимся на этом подробнее.

3. Мышление и чувство

Мысль и чувства в раннем детстве неразличимы и неразделимы, они существуют как бы в симбиозе. С возрастом возникает диссоциация между мыслью и чувством, в которой мы видим признак формирования интел-

лекта. Этот факт дает нам начальное связующее звено между мозгом и разумом. Корни и прототипы мыслей находятся в том, что психоаналитическая теория называет «первичными процессами», или инстинктивными системами (например, половая, защитная и т. д.), которые обладают психологическими проявлениями. Это значит, что самая примитивная эмоция и самая абстрактная мысль могут быть выведены — какой бы сложной и извилистой ни была связь — из общебиологического процесса, связанного с интероцептивными системами. Символический процесс в его самой высшей форме, в которой он используется для образования понятий, нельзя полностью отделить от первичных процессов и чувства. Разница между объективным и субъективным лишается покровов, вуалирующих ее смысл, — мы обнаруживаем щель в броневой защите дуалистического истолкования разума и мозга.

Мы уже отмечали, что чрезмерное внимание к внешним, сознательным формам поведения привело к тщательному изучению символических процессов, которые происходят на базе основных молекулярных процессов в мозге. Без точного знания этих процессов невозможно построить реальную модель мозга. Некоторые внешние формы поведения свидетельствуют о неправильной системной интеграции — проявлении «невротического» процесса, а некоторые являются просто свидетельством того, что уровень сознания есть отражение какой-то части реакций нервной системы, а отнюдь не главная мотивирующая основа, или «гомункул», который трансформирует соматическое в психическое.

Данные, полученные при изучении сознания, то есть поверхности явлений, позволят воплотить в машинах лишь те процессы, которые дают конечные результаты творческой деятельности. Мы сможем проектировать лишь обычные автоматы со стереотипной обработкой данных, вроде цифровой вычислительной машины, автоматы, навеки привязанные к своему демону Максвелла — программисту. Применение же психоаналитических соображений в кибернетике дает возможность покончить с этим загадочным карликом и правильно понять развитие мышления из первичных процессов и инстинктивных систем.

Сознание не должно больше занимать привилегиро-

ванного положения в познавательных системах. Из этого вытекает отрицание ряда привычных представлений о таких свойствах нервной системы, как восприятие и память.

При кратковременной экспозиции картин, когда испытуемый осознавал лишь отдельные фрагменты рисунка, содержание картин всплывало во сне или с помощью метода словесных ассоциаций.

Было показано, что субъекты, помещенные в незнакомую комнату на очень короткое время, в состоянии припомнить лишь небольшую часть обстановки комнаты (несколько предметов), а под гипнозом они вспоминают до ста предметов.

В этих опытах по воспроизведению воспринятого, но не осознанного, образы, которые создаются методом словесных ассоциаций и «выплывают» в сознании, весьма похожи на те, которые впоследствии входят в содержание сновидений испытуемого.

Классическая трактовка этого факта психоаналитиками состоит в том, что первичные процессы взаимодействуют с приобретенным опытом при формировании образов и символики сновидений. Но из этих наблюдений также следует, что действие первичных процессов является решающим и определяет, что воспринимается и остается на подсознательном уровне, а что впоследствии всплывает в сознании. Это подтверждает связь процессов мышления с эмоциональным субстратом, ибо механизмы поведения, которые в раннем детстве допускают свободный разряд энергии, связанный с первичными процессами, не исчезают по мере интеллектуального созревания. Влияние первичных процессов на перцепцию и формирование образов остается как нормальное, чисто физиологическое, а также проявляется в невротических процессах.

Символические операции на примитивных уровнях, лежащих в основе первичных процессов, используются в символике и образах на уровне сознания.

Формирование сознания зависит от способа ассоциации ключевых слов (при словесных ассоциациях) или бессознательно зафиксированных зрительных образов и в каждом случае зависит также от содержания личности субъекта. Искажение действительности органами чувств подтверждает существование специальных подсознатель-

ных механизмов. Эти искажения проявляются в неспособности сознательно опознать ряд слов или других раздражителей, имеющих отрицательное значение для данной личности. Искажения захватывают также область идей и преднамеренных действий. Психоаналитическая литература и личный опыт человека дают множество примеров влияния подсознания: описки, забывание имен и т. п. Искажения представляют большой научный интерес, ибо они позволяют по-другому взглянуть на процесс обучения. В частности, какова действительная роль повторения попыток в обучении? Возможно, что в «норме» роль их равна нулю, и повторения становятся необходимыми лишь из-за искажающих влияний подсознания?

Если мы согласимся с данными о бессознательном приобретении опыта, то почему тогда нельзя считать обучение («запоминание») пассивным процессом, не требующим усилий?

Физиологи и кибернетики слишком быстро поддались соблазну и составили диаграммы, в которых повторения раздражителя становятся необходимостью, вытекающей из строения нейрона и схемы нейронных связей.

Если образование условного рефлекса является следствием простой смежности во времени, то почему требуется много повторений, чтобы выработать условный рефлекс на один раздражитель, а на другой раздражитель условный рефлекс образуется сразу? Есть много раздражителей, на которые условные рефлексы вовсе не образуются. Это совершенно абсурдно, если исходить из того, что обучение сводится только к образованию условных рефлексов, то есть к проторению прямой связи между двумя участками нервной системы. Было создано много моделей обучения, но они не учитывают важных факторов психоаналитической теории и сводят очень сложные формы поведения к простому образованию условных рефлексов, а феномены, открытые психоанализом, рассматривают как филогенетически регрессивные.

Проявления невротического процесса имеют отношение к кибернетике, особенно к моделированию творческого поведения. Расхождение между символом и его значением является основным в структуре невроза. С другой стороны, оно характерно для интуитивных процессов, для фигурального мышления. Под термином «расхождение» мы разумеем следующее: например, в буквальном

смысле ряд морских волн не есть группа преобразования, но если оторвать, «исказить» отношения между ними, то фигурально, в переносном смысле, их можно рассматривать как «сходные».

Мы не собираемся ставить знак равенства между невротическими и творческими процессами, мы только отмечаем, что в них есть много общих черт. Расхождения и искажения являются неизменными признаками сновидений и воображения. Верхним пределом этих расхождений является тот комплекс ассоциаций, который встречается в речи шизофреника. Мы покажем, что «палеологика» шизофреника очень похожа на логику условно-рефлекторного ответа, в котором ассоциации обусловлены простым совпадением раздражителей во времени и пространстве. Совсем примитивные функции — в том смысле, что они находятся на низшей ступени в филогенезе интеллекта — используются в сновидениях и просоночных состояниях. Образы и символы сновидений идут от психологических проявлений инстинктов. Это обстоятельство заставляет рассмотреть вопрос — как тесно такие примитивные функции связаны с образами научного или литературного мышления. Из всего вышесказанного напрашивается вывод: машина с «конечными» свойствами явно или неявно должна обладать «эмоциональным» субстратом, эквивалентным эмоциональному субстрату человека.

Всякий другой подход к делу отрывает мышление от мозга, ибо подразумевает, что символический процесс предсуществует и функционирует в отрыве от прочих функций организма.

4. Энтропия, организация, сознание

Процессы умственной деятельности — каковы бы они ни были — можно дробить до тех пор, пока они не будут сведены к рассмотрению ситуаций, для которых характерно наличие наблюдателя и наблюдаемой системы, то есть гомункула и той системы, которую этот демон должен отнести к определенной категории на основании одного или нескольких свойств. Все наблюдатели — демоны и физики — должны обладать источником энергии, которая деградирует, так как каждое наблюдение делается за счет возрастания энтропии в наблюдаемой системе и (или) в самом наблюдателе. Информация, которой

обмениваются наблюдатель и наблюдаемый, исключает существование полностью изолированных систем, а местное возрастание энтропии требует признания полностью необратимых процессов. Чтобы не обсуждать того, что называют «случайными флуктуациями» и обратимостью, мы примем, что рассматриваемые системы собраны из очень большого числа элементов и мы можем пренебречь всеми данными, которые выходят за рамки средней необратимой природы процессов и взаимодействия. И сразу же мы столкнемся с самой трудной проблемой организации мыслящих систем — дилеммой гомункула, непостижимого распознавателя, вездесущего и всевидящего, и с вопросом связи между системами, которые каким-то образом распознают то, что нужно распознать, и отвечают на сообщения, которые передаются от системы к системе. Сказанное в разделах втором и третьем лишает загадку гомункула той таинственности, которую создали ей традиционные подходы к данной проблеме. Преобладают мнения, что разгадку этого вопроса нужно искать на высшем уровне нервной интеграции. Но, с нашей точки зрения, гомункул нельзя считать чем-то сидящим на верхушке пирамиды функционального регулирования. Такой пирамиды не существует вовсе.

Вероятно, лучшим подходом к решению проблемы является подход с «низшего уровня», то есть изучение взаимодействия первичных процессов и внешних раздражителей. Различие не только в значении слов. Если изучать бессознательно познающие системы, то дилемма гомункула теряет смысл. Всякая попытка сохранить равенство $\text{Гомункул} = \text{Сознание}$ лишь увеличит путаницу, которая и без того уже существует в понимании роли осознания. Мы признаем осознание неактивным компонентом поведения. Этот постулат ведет к важным выводам в смысле объединения некоторых процессов передачи информации, и мы еще к этому вернемся.

В неизоллированных подсистемах, в которых происходят необратимые процессы и постоянное взаимодействие между ними, самое значительное явление — процессы, протекающие во времени с определенной скоростью. Скорость возрастания энтропии — вторая производная от энтропии — важнее, чем сама энтропия. Это хорошо согласуется с тем фактом, что устойчивое стационарное неравновесное состояние соответствует условиям мини-

мального возрастания энтропии. Можно ли в данном случае говорить о вариационном принципе — это зависит от того, будет или не будет возрастание энтропии проявлять себя как интеграл. Вариационный принцип повсеместно проявляется в природе, очевидно, отражая ее универсально распространенные свойства. Факт, что стационарные неравновесные системы характеризуются минимальным возрастанием энтропии, проявляется в принципе минимального действия, который более применим к самоорганизующимся механизмам, чем принцип статистической оценки, определяющий равновесие изолированных систем. Модели мозга, основанные на этом последнем принципе «случайных» процессов, за последнее время стали очень популярны. Непрекращающаяся активность мозга может быть описана как динамика взаимодействующих неизолированных подсистем, которые никогда не бывают в равновесии, а находятся в стационарном неравновесном состоянии либо переходят из одного такого состояния в другое в результате внешнего воздействия. Никакое «спонтанное» необратимое изменение не может вывести систему из этого устойчивого состояния. Она может выйти из него лишь в результате экстероцептивного воздействия или изменения возбудимости инстинктивных систем (под влиянием, например, гормонов). Никким образом нельзя буквально понимать слова «волевой акт» или «самопроизвольный акт», так как это ведет к витализму. Предположение Фрейда, что все поведение первоначально формируется в подсознании, можно считать весьма близким к истине. В работе по моделированию поведения обычно ищут взаимоотношения по типу причина — эффект. Это является отображением общего направления научных исследований, которые стремятся поставить абстрактную теорию на конкретную материальную основу. Но это также является выражением усилий создать реальную модель, собранную из элементов.

Часто приходится слышать, что поведение всего организма — нечто большее, чем сумма поведений его частей. Мы не собираемся вступать в полемику по философским вопросам. Одно ясно: самая строгая и логическая из естественных наук, физика, далеко не полна, и истинная природа корреляций (как причинно-следственный детерминизм в квантовой механике) остается непредсказуемой

и невычислимой во многих случаях, например квантовое представление об «обменных силах». Тайнственные события, которые описываются как нечто большее, чем сумма отдельных частей, бросают вызов нашему пониманию идеи корреляции. Не является тривиальным утверждение, что поведение соединенных и необратимых систем создает иллюзию того, что суммарное поведение больше, чем просто сумма компонентов. При наблюдении изолированных систем такой иллюзии не возникает.

В стационарных состояниях могут объединяться процессы, которые не связаны феноменологическими или транспортными коэффициентами, то есть явными причинно-следственными взаимоотношениями. Например, вполне очевидно, что движение вещества против его градиента концентрации может быть следствием электрического градиента или термодиффузии. Но для нас больший интерес представляют стационарные состояния объединенных систем (процессов), которые влияют на перемещение вещества против градиента концентрации благодаря объединенному воздействию двух процессов — диффузии и скорости метаболизма. Причем эти два процесса не связаны ни феноменологически, ни другим явным причинно-следственным механизмом. Вот простой пример того, как явно несоизмеримые процессы могут взаимодействовать и поддерживать независимость системы, обеспечивая понижение энтропии одного процесса путем увеличения энтропии другого. Это дает возможность одному из процессов преодолевать противостоящие «силы».

Если рассматривать процесс передатчик — датчик — приемник (описанный теорией информации) как изоморфный с процессами, объединенными феноменологическими или транспортными факторами, то процесс объединения энтропий двух процессов вряд ли можно включить в этот изоморфизм. Объединение казалось бы несоизмеримых процессов в стационарное состояние может до некоторой степени объяснить результаты опыта с кратковременными экспозициями картин, в которых отмечалось восприятие без осознания. Мы не будем рассматривать невротические искажения, а повторим постулат о пассивной роли сознания. Сознание (то есть физиологические системы, которым оно соответствует) не включается в цепь поведенческих реакций элементарного типа ни в качестве «участника», ни в качестве «ката-

лизатора». Некоторые из этих реакций при определенных условиях могут изменять возбудимость ретикулярной формации, которая, очевидно, имеет отношение к пробуждению и к осознанным ощущениям. Информация, скажем, со зрительного или слухового пути поступает соответственно в латеральное или медиальное коленчатое тело зрительного бугра и либо здесь, либо в соответствующих зонах коры претерпевает трансформацию, то есть чувствительная информация «потребляется» и создается новая информация, подобно тому как создается новое соединение в результате химической реакции.

Рассматривая перемещение информации по чувствительным путям через зрительный бугор в кору как транспортировку компонента химической реакции через границы открытых систем, рассматривая скорость получения информации как аналог скорости «метаболизма информации», можно создать следующую модель.

Если принять, что пассивный сознательный компонент вовлечен в передачу информации, то ширина полосы процесса переработки информации, или скорость «потребления» информации, становится фактором, который воздействует в термодинамическом смысле на перенос информации и таким образом влияет на концентрацию пассивного компонента, то есть на возбуждение сознания.

Объединение в одном стационарном состоянии скоростного процесса и процесса транспортировки — которые не связаны феноменологически — может привести, если частота информационного преобразования допускает это, к достаточному изменению концентрации пассивного компонента. Тогда будет достигнут порог осознания. Он может быть достигнут с очень малыми усилиями, если принять, что аналогии очень точны и согласованны. Уравнения стационарных состояний не сложны и хорошо известны, и потому приводить их не будем.

При рассмотрении умственной деятельности встречаются серьезные логические трудности, особенно при попытках воплотить ее в автоматах — в соответствии с принципами открытых систем в термодинамике. Их несходство не является различием структурного или функционального характера между нервной сетью и классической термодинамической системой. С другой стороны,

те же принципы обнаруживаются при изучении процессов в клетке. Мы не собираемся приравнивать регуляцию химической реакции к высшей мозговой деятельности, и все же надо сказать, что при изучении химических систем возникают проблемы, которые существуют в любой самоподдерживающей и саморегулирующей системе.

5. Символические процессы и психотические состояния

Прежде чем рассмотреть класс психозов, именуемых «шизофрения», нужно уточнить значение термина «регрессия». Грубо говоря, эмоциональное и интеллектуальное развитие индивида проходит через несколько уровней адаптации. На каждом из них адаптивные реакции различны благодаря приобретенным способностям к интеграции и выходу индивида из аутического мира ранних детских лет. По Фрейду, регрессия есть возврат к эмоциональным механизмам раннего детства. Мы употребляем термин регрессия в смысле возврата к более низкому уровню в развитии интеллекта. Регрессивная природа шизофрении заключается в том, что шизофреник пытается втиснуть мир взрослого человека в примитивные интеллектуальные формы, то есть речь идет о возврате к способу мышления, типичному для раннего детства (а не о возврате просто к детским эмоциям). Это хорошо согласуется с известной формулой, что у шизофреника отмечается расхождение, диссоциация между «эффектом» и «аффектом».

Наш интерес к этому психозу не является чисто академическим, он вытекает из стремления отыскать корни интеллекта и символических процессов. Этот психоз интересен для нас тем, что дает сведения о низших уровнях развития, на которых субъект пользуется логикой, соответствующей обучению методом ассоциации и условных рефлексов. Вероятно, регрессии такого рода имеют место и во сне. Для нас интересен тот факт, что во сне и просоночных состояниях человеку удается достигнуть целей, проникнуть в сущность проблем, которые не поддавались его «сознательным» усилиям наяву. Ясно, что где-то в спектре нормального поведения имеется специальный символический аппарат, который проявляет себя в условиях сна и гипноза. Однако сложность его слиш-

ком велика (когда мы пытаемся выяснить его механизм на уровне возникновения образов), чтобы обеспечить основу для создания автомата, который также смог бы видеть сны. Нужно изучить состояния, в которых наблюдаются расщепление личности и возврат к ранним, более простым механизмам, позволяющим рассмотреть мельчайшие детали структуры мыслительного процесса.

Галлюцинации дают шизофренику возможность отойти от обычной символики словесных, зрительных и слуховых образов. Галлюцинации есть регрессия, крайнее выражение конкретизации мысли. Содержание галлюцинаций имеет для больного большую реальность, чем все другие раздражители. Но еще более интересна регрессия логики (палеологика), то есть способ мышления, основанный на неограниченном использовании предикатной логики.

Мышление шизофреника соответствует мышлению автомата, построенного по типу условных рефлексов, на идентификации двух и более раздражителей по их смежности или одновременности во времени и пространстве или по другому предикату, не указывающему на идентичность субъекта и объекта. В филогенезе мыслительных процессов такая идентификация, основанная на предикатах, а не на субъектах, подавляется новыми развивающимися системами. Это значит, что филогенетически более старый уровень остается, но подчиняется контролю более сложных механизмов интеграции. С психоаналитической точки зрения эти механизмы связаны со структурой «я». При шизофрении происходит дезинтеграция, которая позволяет инфантильным процессам проявляться в поведении.

Это вновь возвращает нас к первичным процессам (раздел 3), которые доминируют над интеллектом до того, как формируется «я», а в дальнейшем играют столь важную роль в формировании содержания сновидений на протяжении всей жизни.

«Идея» во сне тесно связана с галлюцинациями, так как эта идея есть не только воображение, но и чувственный опыт. Но торможение части структур «я» не позволяет индивиду включить сновидение в свой действительный чувственный опыт.

Мы хотим показать безнадежность попыток распрост-

ранить понятие условного рефлекса на сложное символическое поведение и воображение, или даже на простое обучение, которое должно отличаться от палеологиики шизофреника. С другой стороны, необходимо изучить развитие систем «я» и развитие символических процессов из первичных процессов и примитивной перцепции, а также из условно-рефлекторной деятельности, которая сама по себе еще не является признаком, отличающим человека от самых примитивных животных.

6. Роль теории вычислимости множеств

Функция, состоящая из i целочисленных переменных, называется перечислимой, если известен эффективный способ, например «программа», с помощью которой можно вычислить функцию во всех точках в диапазоне изменения всех i переменных и только в этих точках. Мы называем множество из P целых чисел рекурсивно исчислимым, если существует программа, которая дает ответ «да» для каждого числа, являющегося членом множества P , и «нет» для каждого числа, не являющегося членом P . Величина функции i целочисленных переменных для всех значений переменных описывает рекурсивно перечислимое множество P .

Теорема неполноты Геделя показывает, что набор истинных утверждений, выраженных формальным аксиоматическим языком,— язык достаточно содержательный, чтобы включать в себя законы арифметики—не является рекурсивно перечислимым, или же язык является непоследовательным (можно доказать, что утверждение, сделанное этим языком, может быть и истинным, и ложным — доказать с помощью утверждений, сделанных в рамках данного языка. Это упрощенное описание «сильной непоследовательности»).

Мы раньше говорили о той кажущейся преграде, которую упомянутая теорема устанавливает на пути полного предопределения природы аксиоматически синтезированной системы. Были предприняты усилия, чтобы обойти это препятствие с помощью методов, использующих вероятностную процедуру перечисления множеств целочисленных переменных, для которых не существует алгоритма рекурсивного перечисления каждого члена.

Эти методы основаны на классических работах Лиув, Мура и других, которые показали, что для каждой детерминистической машины можно построить вероятностную машину, обладающую теми же способностями, что и детерминистическая (любая теорема, так же как и состояние машины, может быть выражена в арифметической форме, то есть представлена в единой числовой системе Геделя). Если дана система, элементарные составные части которой так же мало детерминированы в отношении их будущего состояния, как частицы статистическо-механической системы, то каковы бы ни были теоретические ограничения числа сочетаний системы, ее можно считать заданной квазиэргодической теорией. Траектория системы в фазовом пространстве (энергетическая поверхность) может приблизиться как угодно близко к любой области пространства.

Ограничение, касающееся конечного достижения всех состояний, заключено в природе преобразования, которое переносит каждое положение на траектории в следующее положение, то есть в свойстве метрической транзитивности.

Благодаря такому свойству единственные состояния в фазовом пространстве, которые остаются инвариантными при преобразованиях, — это множества состояний с членами 0 и 1. Это, кажется, соответствует утверждению Каннонито, что «почти все (в смысле теории Лебега) действительные члены $0 < x < 1$ неперечислимы. Иначе говоря, вероятность того, что наугад взятое действительное число является неперечислимым, равна 1.

Сейчас еще трудно с помощью теории перечислимости выяснить природу творческих и символических процессов и создать машину, обладающую воображением. Но выяснение этих вопросов с помощью приведенных выше соображений поможет создать эффективный алгоритм для исчисления большого и содержательного множества форм поведения.

Довольно популярный аргумент в пользу вероятностной машины — в терминах множества эргодических преобразований — заключается в том, что если дано достаточное «время», то может произойти буквально все, и нам остается только выбрать самое полезное и интересное из того, что выбрасывается на берег волнами статистического метода.

Источником затруднений будет то, что пока даже в детерминистических процессах нет критерия, который бы дал возможность определить, что является ценным, а что — нет. Если продолжить нашу аналогию, то нам нужен «искатель жемчуга» — эффективный метод определения членов рекурсивного множества. Наилучший аргумент против методик «случая» заключается в том, что они не дают системы для исследований и могут вовлечь исследователя в неразумную работу по испытанию всех мыслимых вариантов и комбинаций.

7. Заключение

Превосходство классической психоаналитической теории над новейшими теориями состоит, по нашему мнению, в том, что она согласуется с данными физической науки.

Если читатель согласится, что терапевтические успехи этой теории подтверждают ее истинность, то окажется, что эта теория лучше всех других объясняет поведение человека.

Теория Фрейда пытается заполнить пропасть между врожденными системами и теми, которые развиваются из них. Последние обычно называют психологическими, первые — инстинктивными.

Источник так называемой инстинктивной энергии — органы тела и гормоны, и если можно говорить о их «цели», то она заключается в уменьшении «напряженности», то есть в поддержании постоянства путем разрядки (при чрезмерном возбуждении). На ранних этапах жизни психосоматические функции фрагментарны и анархичны, и лишь постепенно происходит интеграция изолированных функций в единое целое. Так называемые невротические процессы стремятся поддерживать изолированность и автономность этих функций. Концепция инстинктивных систем ничего общего не имеет с такими понятиями, как «инстинкт приобретательства» или «самоутверждения» и т. д. Инстинкты в понимании Фрейда — это просто соматические структуры, а вышеуказанные понятия включают в себя такие сложные представления, как «я» и его отношение к окружающему, то есть имеют психологическое содержание, и потому относятся к более поздним стадиям развития.

Один из главных каналов, через который происходит разрядка энергии инстинктов,— это система «я». Она играет большую роль в эволюции защиты индивида и развивается на базе процесса обучения, или приспособления к внешним раздражителям, и другого мощного канала инстинктивной энергии — половой системы.

Важно отметить, что в этой формулировке система «я» не может ни существовать, ни развиваться, не заимствуя энергию, с одной стороны, у половой системы, с другой — во внешней среде, так что история развития «я» начинается только с момента рождения.

ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММА, СОЗНАНИЕ И СОН (ОПЫТЫ ПО ГИПНОПЕДИИ)

Ч. Саймон, У. Эммонс

С тех пор, как была открыта волновая электрическая активность мозга, делаются попытки связать ее с психологическими наблюдениями. Но после четверти века исследований эта задача реализована лишь отчасти. Хотя клиницисты и нейрофизиологи признают диагностическую ценность электроэнцефалограммы, польза ее для психологических исследований очень невелика.

Состояние бодрствования и сна у нормального индивида находит объективное отражение в электроэнцефалограмме. Многочисленные исследования показали, что при различной глубине сна меняется амплитуда и частота дельта-волн (показателем глубины сна служит интенсивность и продолжительность звука, приводящего к пробуждению). Когда субъект бодрствует, обычно записываются альфа-волны.

В настоящей статье рассматриваются электроэнцефалограммы во всем диапазоне переходных состояний от сна к бодрствованию и связь электроэнцефалограмм с различными степенями сознания.

Было бы неразумно пытаться дать точное определение сознания. Двумя измеримыми критериями, которые считаются показателем «степени сознания» у нормального человека, являются:

способность опознать раздражитель, описанный специальной инструкцией;

способность удержать в памяти и затем вспомнить этот раздражитель.

Сознание связано с теми стадиями бодрствования, при которых субъект отдает себе отчет о внешних раз-

дражителях. Оно связано также с тем состоянием, при котором возникают внутренние раздражители — сновидения, впоследствии воспроизводимые памятью.

Бессознательное состояние связано с различными фазами сна. В настоящей статье большое внимание уделено вопросам бодрствования.

Материал и методы

Для опытов был отобран 21 здоровый мужчина — на основании данных коэффициента интеллектуальности и однополюсной затылочной ЭЭГ, показывающей наличие постоянного альфа-ритма в состоянии покоя, при закрытых глазах. Был проведен предварительный опрос — проверка, могут ли испытуемые ответить на 96 вопросов, касающихся спорта, науки, истории и проч. Затем испытуемых помещали в звуконепропускаемую камеру с кондиционированным воздухом. Во время сна те же вопросы и правильные ответы на них проигрывали на магнитофоне, по одному вопросу и ответу через каждые 5 мин, в течение всей ночи.

На протяжении 8 ч с правой части затылка и макушки испытуемого отводилась однополюсная ЭЭГ. Специальный отметчик показывал, какие участки ЭЭГ соответствуют по времени проигрыванию на магнитофоне вопросов и ответов.

В случае, если испытуемый проснулся, он должен был громко оповестить об этом.

Через 8 часов все испытуемые были разбужены и им повторно предлагались те же 96 вопросов, чтобы определить, воспринята ли новая информация во сне.

Альфа-ритм как показатель сознания

Связь между альфа-ритмом и сознанием отмечалась многими исследователями. В нашем эксперименте переходное состояние от бодрствования ко сну было растянуто настолько, чтобы можно было изучить отношение между изменением сознания и альфа-ритма. Об изменениях сознания судят по ответам на раздражители и последующим воспоминаниям об этих раздражителях.

По мере увеличения амплитуды альфа-ритма возрастает вероятность того, что раздражитель будет опознан и позже воспроизведен памятью. Для обозначения глубины сна использовались общепринятые буквенные обозначения (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Уровень сна	Распознано раздражителей, %		Правильно воспроизведено ответов, %	
	альфа +	альфа —	альфа +	альфа —
0	89	70	84	27
A +	83	58	79	38
A	72	43	59	42
A —	43	26	40	19
B	10	2	8	3

На уровне 0 (бодрствование, расслабление, глаза закрыты) небольшое уменьшение амплитуды альфа-ритма перед засыпанием и сразу после пробуждения соответствует некоторому уменьшению вероятности восприятия и воспроизведения раздражителя в эти периоды.

По мере того как амплитуда альфа-ритма продолжает уменьшаться, на уровнях A+ (легкое дремотное состояние) и A (дремотное состояние) отмечается снижение вероятности распознавания и воспроизведения раздражителя.

На уровне A— (глубокое дремотное состояние) волновая активность остается, хотя она на 2 гц меньше, чем нормальный альфа-ритм в состоянии бодрствования. Какая-то небольшая вероятность распознавания сигнала еще имеется.

Нужно подчеркнуть одно обстоятельство. Отсутствие альфа-ритма еще не говорит об отсутствии сознания. Альфа-ритм может исчезнуть при сильном волнении или при сосредоточенном внимании. Более того, у многих нормальных людей альфа-ритм вовсе не отмечается, поэтому его можно использовать только для идентификации наличия сознания. Отсутствие сознания должно распознаваться каким-то другим способом.

Альфа-ритм, двигательная активность и сознание

Могут ли движения субъекта во время сна служить критерием степени (уровня) сознания? Каково соотношение между альфа-ритмом, движениями и уровнем сознания (уровень определяется по способности опознать и воспроизвести раздражитель)?

Т а б л и ц а 2

	Распознано раздражителей, %		Воспроизведено раздражителей, %	
	альфа +	альфа —	альфа +	альфа —
Движения во сне были	57	8	35	2
Движений во сне не было	63	3	56	3

Табл. 2 показывает процент распознанных и воспроизведенных вопросов и ответов во сне при наличии движений конечностей. Потенциалы коры маскировались и искажались артефактами, связанными с электрической активностью мышечных сокращений. Поэтому мы не могли связать процент правильных воспроизведений с глубиной сна. Однако можно установить, есть ли альфа-ритм на смежных участках ЭЭГ. Если альфа-ритм отмечался во время движения или в конце его, то процент воспроизведений был высоким, если же альфа-ритма не было, то процент был практически равен нулю. Результаты полностью совпадают с теми, что были получены для альфа+ и альфа— периодов при отсутствии движений. Отсюда два вывода:

1. Движения во сне могут быть и при отсутствии альфа-ритма.

2. Критерием сознания является альфа-ритм, а не движения.

Приложение полученных результатов

У испытуемых с преобладанием альфа-ритма отмечалось систематическое изменение ЭЭГ при переходе от бодрствующего состояния к глубокому сну.

Связь альфа-ритма с бодрствованием и дельта-ритма со сном, а также возможность распознавания и воспроизведения раздражителей только при наличии альфа-ритма противоречат весьма распространенному и популярному представлению о том, что во сне якобы возможно проводить обучение.

Важным приложением полученных данных является изучение факторов, влияющих на отдых и сон. В дополнение к измерению продолжительности сна можно электроэнцефалографически измерять его глубину, не причиняя субъекту никаких неудобств.

Эти два критерия — продолжительность и глубина — дают возможность более детально изучать сон, а проблема сна имеет большое значение.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Предисловие	3
Д. Миллер, Информация и память (G. Miller, Information and Memory, Scientific American, 1956, v. 195, № 2)	7
А. Ньюэлл, Г Саймон, Моделирование человеческого мышления на вычислительной машине (A. Newell, G. Simon, Computer Simulation of Human Thinking, Science, 1961, v. 134, № 3495)	17
Р. Гольдэкр, Регуляция ритма и гомеостаза в биологии и медицине (R. Goldacre, The Control of Rhythm and Homeostasis in Biology and Medicine, Cybernetica, 1960, № 2)	31
Р. Галамбос, Глио-невральная теория функционирования мозга (R. Galambos, Glioneuronal Theory of Brain Function, Proceedings of the National Academy of Science of the USA, v. 47, № 1)	53
Р. Купер, Механизмы искусственного и естественного мозга (R. Cooper, Brain Mechanisms: Natural and Artificial, Research, 1961, v. XIV, № 8)	65
М. Клайнс, Биокбернетический закон однонаправленной скоростной чувствительности (M. Clines, Unidirectional Rate Sensitivity: A Biocybernetic Law of Rephlex and Humoral Systems as Physiologic Channels of Control and Communication, Annals of N. Y. Academy of Science, 1961, v. 92, № 3).	78
Р. Бернгард, Новые соображения в кибернетических исследованиях (R. Veighard, New Considerations in Cybernetic Research, Cybernetica, 1962, № 1)	96
Ч. Саймон, У Эммонс, Электроэнцефалограмма, сознание и сон (опыты по гипнопедии) (Ch. Simon, W. Emmond's, Electroencephalography, Conscience and Sleep, Science, v. 124, № 3231)	113

Цена 18 коп.

« НАУКОВА ДУМКА »
КИЕВ • 1964